



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

PROYECTO DE DESARROLLO

Título:

Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Producción y operaciones Industriales

Autor:

Ríos Guiracocha Miguel Ángel

Tutor:

Hidalgo Oñate Ángel Guillermo, MSc

LATACUNGA – ECUADOR

2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Ríos Guiracocha Miguel Ángel** con C.I. 0704853423, declaro ser autor del presente proyecto tecnológico: **“Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte.”**, siendo el Ing. MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate, tutor del presente trabajo tecnológico; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo tecnológico, es de mi exclusiva responsabilidad.

Ríos Guiracocha Miguel Ángel

C.I.: 0704853423

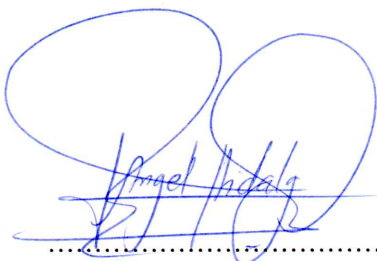
AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte.”, presentado por Ríos Guiracocha Miguel Ángel, para optar por el título magíster en Producción y Operaciones Industriales.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, 22 de octubre del 2025



Tutor

Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate

CC.: 0503257404

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

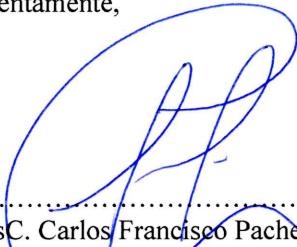
En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, por cuanto, el postulante Ríos Guiracocha Miguel Ángel, con el título de Proyecto de titulación: **“Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte.”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes según la normativa institucional.

Latacunga, octubre 22 del 2025

Para constancia firman:

Atentamente,



.....
MsC. Carlos Francisco Pacheco Mena
0503072902
Presidente del tribunal



.....
MsC. Cristian Ivan Eugenio Pilliza
1723727473
Lector 2



.....
MsC. José Ezequiel Naranjo Robalino
1804710463
Lector 3



AVAL DE ESTUDIO DE CASO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Latacunga, 23 de octubre del 2025

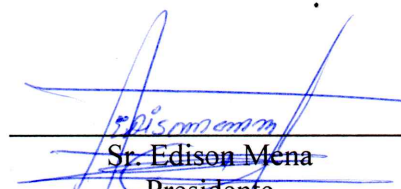
Por medio de la presente carta, tengo el honor de certificar que el señor estudiante RIOS GUIRACOA MIGUEL ÁNGEL, identificado con número de cédula 0704853423, ha llevado a cabo con éxito un estudio de caso en la cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí”. Este estudio fue realizado como parte integral del proyecto tecnológico titulado **“ESTUDIO DE APLICABILIDAD DEL INTERNET DE LAS COSAS (IOT) EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE TIEMPOS EN RUTAS DE TRANSPORTE.”**.

A lo largo de la ejecución de este proyecto, el estudiante ha demostrado una destacada habilidad y un profundo conocimiento en el ámbito tecnológico. Su enfoque riguroso y comprometido en la forma propuesta ha dado como resultado hallazgos valiosos que serán de gran utilidad para la cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí”.

Durante el período en que llevaron a cabo este estudio, el estudiante ha destacado por su responsabilidad, honestidad y alto nivel de profesionalismo. Ha establecido una vinculación de confianza con la organización y han demostrado un compromiso genuino con la calidad de su trabajo.

Por medio de esta carta, certifico con absoluta veracidad lo mencionado anteriormente, y autorizo a los interesados a utilizar este documento de acuerdo a su conveniencia.

Atentamente,


Sr. Edison Mena
Presidente
Cooperativa de Transportes
“Nacional Saquisilí”

DEDICATORIA

Dedico este trabajo al **DIOS DE ISRAEL**, quien me dio la capacidad de lograr este proyecto. A mis padres cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios han sido la fuente de mi inspiración y determinación. A mi esposa preciosa que ha estado apoyándome en cada paso que doy. Gracias por creer en mí y por alentarme a perseguir mis sueños con valentía.

A cada amistad que se cruzó en mi camino y contribuyó de alguna manera a nuestro crecimiento personal y académico, nuestro más sincero agradecimiento.

Esposos por siempre
Arleth López y Miguel Ríos

AGRADECIMIENTO

Agradezco al **DIOS DE ISRAEL**, pues como dice el Evangelio de Juan 3:27: *“No puede el hombre recibir nada, si no le fuere dado del cielo”*. Gracias a Dios por haber puesto en mi camino a personas dispuestas a brindarme su apoyo en esta travesía y por concederme una familia que me acompaña y respalda siempre.

Extiendo mi más sincera gratitud a todos los participantes de este estudio, cuya colaboración aportó perspectivas fundamentales para la realización de este proyecto. Su compromiso y dedicación fueron esenciales para alcanzar resultados significativos.

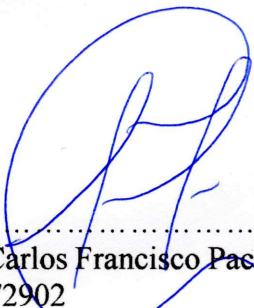
De manera especial, expreso mi agradecimiento al **ingeniero Ángel Guillermo Hidalgo Oñate**, por su valioso apoyo como tutor de este proyecto y, sobre todo, por su amistad y orientación constante.

Miguel Ríos

AVAL DEL PRESIDENTE

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los miembros del tribunal en la pre defensa.

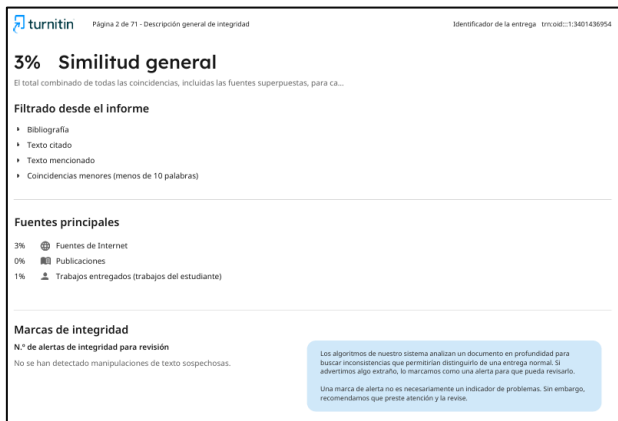
Latacunga, octubre, 22 del 2025.



.....
MsC. Carlos Francisco Pacheco Mena
0503072902
Presidente del tribunal

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: “**Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte**”, de Ing. Ríos Guiracocha Miguel Ángel, del programa de maestría en Producción y Operaciones Industriales, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 3%, y el porcentaje detectado como IA de *%; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.



turnitin Página 2 de 71 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega: 113401430954

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

3%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
1%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

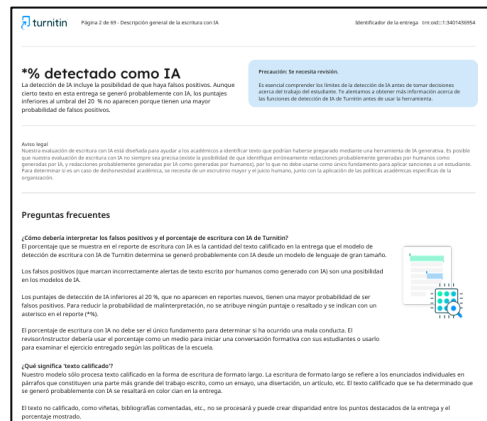
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



turnitin Página 2 de 71 - Descripción general de la escritura con IA Identificador de la entrega: 113401430954

*% detectado como IA

La detección de IA mide la probabilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: se necesita revisión.

Es crucial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te animamos a obtener más información acerca de los límites de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Aviso legal

Nuestro sistema de escritura con IA está diseñado para ayudar a los académicos a identificar texto que podría haberse creado mediante una herramienta de IA generativa. No puede que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre se precise sobre la posibilidad de que identifique erróneamente reducciones preexistentes generadas por humanos como generadas por IA, y esto puede resultar en una mala calificación por parte de los profesores, por lo que es importante que los profesores estén al tanto de los límites de la herramienta. Para determinar si es un caso de discriminación académica, se necesita de un escrutinio riguroso y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la institución.

Preguntas frecuentes

¿Cómo debería interpretar los falsos positivos y el porcentaje de escritura con IA de Turnitin?

El porcentaje que se muestra en el reporte de escritura con IA es la cantidad del texto calificado en la entrega que el modelo de detección de escritura con IA de Turnitin determina se generó probablemente con IA desde un modelo de lenguaje de gran tamaño.

Los falsos positivos (que marcan incorrectamente alertas de texto escrito por humanos como generados por IA) son una posibilidad en los modelos de IA.

Los puntajes de detección de IA inferiores al 20 %, que no aparecen en reportes nuevos, tienen una mayor probabilidad de ser falsos positivos. Para reducir la probabilidad de malinterpretación, no se entregan ningún puntaje o resultado y se reducen con un asterisco en el reporte (*%).

El porcentaje de escritura con IA no debe ser el único fundamento para determinar si ha ocurrido una mala conducta. El investigador debería usar el porcentaje como un medio para iniciar una conversación formativa con sus estudiantes o usarlo para examinar el ejercicio entregado según las políticas de la escuela.

¿Qué significa "texto calificado"?

Nuestro modelo solo procesa texto calificado en la forma de escritura de formato largo. La escritura de formato largo se refiere a los enunciados individuales en párrafos que constituyen una parte más grande del trabajo escrito, como un ensayo, una disertación, un artículo, etc. El texto calificado que se ha determinado que se generó probablemente con IA se resaltará en color azul en la entrega.

El texto no calificado, como viñetas, bibliografías comentadas, etc., no se procesará y puede crear disparidad entre los puntos destacados de la entrega y el porcentaje estimado.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 06 noviembre de 2025

.....
Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate, Mg.

CC.: 0503257404

TUTOR

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I.....	1
1. Introducción	1
1.1 Resumen.....	1
1.2 Problema	3
1.2.1 Planteamiento del problema	3
1.2.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Beneficiarios	4
1.3.1 Beneficiarios directos	4
1.3.2 Beneficiarios indirectos	4
1.4 Justificación	4
1.5 Hipótesis	5
1.6 Objetivos.....	5
1.6.1 Objetivo general	5
1.6.2 Objetivos específicos.....	5
CAPITULO II	6
2. Fundamentación teórica	6
2.1 Antecedentes	6
2.1.1 Desarrollo de sistemas de monitoreo de transporte público.....	6
2.1.2 Plataforma de monitoreo vehicular con RFID e inteligencia artificial.....	6
2.1.3 Monitoreo de afluencia y frecuencia con tecnología RFID.....	7
2.2 Marco referencial de la investigación.....	8
2.2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	8
2.2.2 Herramientas y técnicas para el estudio de procesos	10

2.2.3	Internet de las cosas (IoT)	11
2.2.4	Energía limpia para sistemas autónomos	22
2.2.5	Análisis económico	23
CAPITULO III.....		24
3.	Materiales y métodos de la investigación	24
3.1	Modalidad o enfoque de la investigación	24
3.2	Población y muestra de la investigación.....	24
3.3	Métodos y técnicas de la investigación.....	24
3.3.1	Métodos teóricos de la investigación	24
3.3.2	Métodos empíricos de la investigación	25
3.4	Técnicas e instrumentos de la investigación.....	25
3.5	Diseño experimental	25
3.6	Propuesta de investigación y validación.....	26
3.7	Situación actual de la cooperativa “Nacional Saquisilí”	26
3.8	Estudio de la situación a través de la metodología Design Thinking. 29	
3.8.1	Empatizar con los beneficiarios del proyecto.....	29
3.8.2	Definir el problema presente en la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”.....	37
3.8.3	Idear soluciones para la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”	42
3.9	Metodología waterfall.....	45
3.9.1	Requerimientos de la propuesta.....	45
3.9.2	Diseño del sistema de medición automática.....	46
CAPITULO IV.....		56
4.	Resultados y discusión	56
4.1	Implementación en base a la arquitectura IoT	56

4.1.1	Capa 1: Capa de dispositivos físicos y controladores	56
4.1.2	Capa 2: Capa de conectividad	61
4.1.3	Capa 3: Capa de Edge Computing.....	63
4.1.4	Capa 4: Capa de acumulación de datos	64
4.1.5	Capa 5: Capa de abstracción de datos	65
4.1.6	Capa 6: Capa de aplicaciones	66
4.1.7	Capa 7: Capa de colaboración y procesos	72
4.2	Verificación o testeo	74
4.2.1	Prueba de ubicación de las etiquetas o tags.....	74
4.2.2	Estación RFID	74
4.2.3	Aplicación móvil del sistema	78
4.3	Análisis de costos del sistema de tiempos	84
4.3.1	Costos del sistema actual.....	84
4.3.2	Costos del sistema IoT de gestión de tiempos propuesto	85
4.3.3	Cálculo del retorno de la inversión (ROI)	87
CAPITULO V		89
5.	Conclusiones y recomendaciones	89
5.1	Conclusiones.....	89
5.2	Recomendaciones	89
CAPITULO VI.....		91
6.	Referencias bibliográficas.....	91
7.	Anexos	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Lluvia de ideas	44
Tabla 3.2 Elección de la mejor idea.	44
Tabla 3.3 Características técnicas de los sensores con ponderaciones	48
Tabla 3.4 Características técnicas de placas comerciales [48].....	50
Tabla 3.5 Comparativa entre comunicaciones LPWAN [48]	51
Tabla 3.6.Requerimientos iniciales	54
Tabla 4.1. Estructura de la comunicación del Lector RFID.....	57
Tabla 4.2. Salidas registradas los primeros 26 días del sistema funcionando.....	75
Tabla 4.3. Segunda fase de 29 días.	76
Tabla 4.4. Errores después de la colocación de la segunda antena	77
Tabla 4.5 Cantidad de picadas diarias.....	84
Tabla 4.6 Costos anuales de funcionamiento del sistema actual.	84
Tabla 4.7 Costo de implementación del reloj mecánico.	85
Tabla 4.8 Costos del sistema actual	85
Tabla 4.9 Costos de la estación RFID	86
Tabla 4.10 Costos de un repetidor Lora	86
Tabla 4.11 Costos de sistema IoT de gestión de tiempos propuesto.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Objetivos de desarrollo sostenible [6]	9
Figura 2.2 Modelo de referencia de IoT [12]	13
Figura 2.3 Comunicación RFID entre el lector y la etiqueta [21]	15
Figura 2.4 Arquitectura de red Sigfox [29]	18
Figura 3.1. Combinación de la metodología utilizada. (Design Thinking y Waterfall)	25
Figura 3.2 Proceso actual del sistema de control de horario mediante el reloj mecánico	27
Figura 3.3 Perfil de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”	31
Figura 3.4 Mapa de empatía de la directiva de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”	32
Figura 3.5 Mapa de empatía del chofer de la cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí”	34
Figura 3.6 Mapa de empatía de pasajero que ocupa el servicio de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”	36
Figura 3.7 Lluvia de ideas de los problemas presenciados en la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”	38
Figura 3.8 Efectos actuales del problema encontrado en la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”	39
Figura 3.9 Efectos que pueden surgir al no resolver el problema presente.....	40
Figura 3.10 Árbol de efectos	41
Figura 3.11. Diagrama del árbol de problemas de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”	42
Figura 3.12. Mapa de oportunidades: de la identificación del problema a las preguntas de diseño	43
Figura 4.1. Lector de puerto serial utilizado Serial Port Monitor	57

Figura 4.2. Comunicación en Lector RFID y el microcontrolador	58
Figura 4.3. Colocación de la etiqueta RFID.....	58
Figura 4.4 Estructura para el gabinete.....	59
Figura 4.5 Estructura del lector RFID	60
Figura 4.6 Estructura para el panel solar.....	60
Figura 4.7 Estructura instalada en el cantón Saquisilí	61
Figura 4.8. Conexión entre dispositivo emisor y Gateway LoRa	61
Figura 4.9. Interfaz Web de configuración de Gateway	62
Figura 4.10. Servicio de Node-RED activo en VPS privado	63
Figura 4.11. Módulos de Node-RED utilizados.....	63
Figura 4.12. Parte inicial del flujo en Node-RED	64
Figura 4.13. Parte central del flujo en Node-RED	64
Figura 4.14. Parte final del flujo en Node-RED.....	64
Figura 4.15. Base de datos Cloud Firestore utilizado	65
Figura 4.16. Nodo de Firestore in	66
Figura 4.17. Dashboard para la administración del Gateway	66
Figura 4.18. Pantalla de inicio de la aplicación en FlutterFlow.....	67
Figura 4.19. Backend de log in en FlutterFlow con Action Flow Editor.....	67
Figura 4.20. Página principal de la aplicación móvil primera versión.....	68
Figura 4.21 Tarjeta digital de servicio diario de trabajo	68
Figura 4.22. Tarjeta utilizada para el control de tiempo manual	69
Figura 4.23. Página para registrar la salida de Latacunga a Saquisilí.....	69
Figura 4.24. Visualización de las salidas diarias.....	70
Figura 4.25. Área de revisión de multas por pagar	71
Figura 4.26. Área de revisión de multas por cobrar	71

Figura 4.27. Área de administrador de la aplicación	72
Figura 4.28. Proceso mejorado del sistema de control de horario mediante el sistema IoT	73
Figura 4.29 Tag en parabrisas del bus número 15	74
Figura 4.30. Estación RFID con lector integrado y antena adicional	77
Figura 4.31. Ingreso de todas las salidas diarias	78
Figura 4.32. Ingreso de todas las salidas diarias de manera individual	79
Figura 4.33. Ingreso de salidas en modo feriado	80
Figura 4.34. Botón del modo feriado	80
Figura 4.35. Edición de la salida por parte del usuario.....	81
Figura 4.36. Área de administración final.....	82
Figura 4.37. Selección de rutas de la aplicación móvil.....	82
Figura 4.38. Tarjeta digital de la ruta Saquisilí-Latacunga.....	83
Figura 4.39. Ingreso de salidas desde Saquisilí.....	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Reuniones con los miembros de la cooperativa	96
Anexo II. Certificado de funcionamiento del sistema.....	99
Anexo III. Entrega de aplicación y manual.....	100
Anexo IV. Manual de usuario	101
Anexo IX. Hoja de datos de la Batería.....	140
Anexo V. Modelo en Excel para la optimización	113
Anexo VI. Hoja de datos de la placa Heltec wifi LoRa 32 v3	114
Anexo VII. Hoja de datos del Lector RFID	129
Anexo VIII. Hoja de datos del Panel Solar	139
Anexo X. Experiencias de los stakeholders	142

Información General

Título del Trabajo de Titulación:

Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte.

Línea de investigación: Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral.

Proyecto de investigación asociado:

Transformación de la Capacitación en Seguridad y Producción Industrial con Realidad Mixta e Inteligencia Artificial en el Marco de la Industria 4.0 y los ODS.

Grupo de Investigación:

Tutor de Titulación: Ing. Hidalgo Oñate Ángel Guillermo, M.Sc.

Estudiante: Miguel Ángel Ríos Guiracocha, Ing

Red nacional o internacional:

REDOPI es la Red Ecuatoriana de Ingeniería Industrial y Optimización de Procesos y de Servicios.

CAPITULO I

1. Introducción

1.1 Resumen

El proyecto se enfoca en resolver las dificultades que enfrenta el transporte público intercantonal en Ecuador debido al control manual de tiempos de recorrido, mediante la implementación de un sistema automatizado basado en Internet de las Cosas (IoT). El registro manual con relojes mecánicos y tarjetas físicas genera ineficiencias operativas, costos recurrentes y errores que afectan la puntualidad y la calidad del servicio. Para abordar esta problemática, se plantearon objetivos orientados a optimizar la gestión de tiempos. Se trabajó con toda la población de la Cooperativa de Transportes “Nacional Saquisilí”, conformada por 28 socios y una secretaria, analizando el proceso manual actual e identificando sus limitaciones. Posteriormente, se diseñó y construyó un prototipo que integra: tecnología RFID para la identificación de la llegada de buses a una ubicación determinada, comunicación de largo alcance mediante LoRa y una aplicación móvil desarrollada para los choferes que digitaliza la tarjeta de control, se observa automáticamente los tiempos de llegada y facilita la gestión diaria. El desarrollo combinó la metodología Design Thinking para comprender las necesidades de los actores y co-crear la solución, y la metodología Waterfall para guiar las fases de definición de requisitos, diseño, implementación y verificación del prototipo. Las pruebas en campo demostraron la efectividad del sistema: el error promedio se redujo de 21,40 % en la primera fase a 0 % tras ajustes en la orientación de antenas y ubicación de etiquetas. Desde el punto de vista económico, la inversión inicial fue de \$8.095,45 USD y el Retorno de la Inversión (ROI) estimado alcanzó el 51 % aproximadamente, lo que confirma la viabilidad técnica y financiera del proyecto.

Palabras clave: Control de Tiempos, Design Thinking, Internet of Things, LoRa, RFID, Transporte Público, Waterfall.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

TITLE: Study on the Applicability of the Internet of Things (IoT) in Optimizing Time Management in Transportation Routes.

Author: Ríos Guiracocha Miguel Ángel

Tutor: Hidalgo Oñate Ángel Guillermo, MSc

ABSTRACT

Abstract: The project focused on addressing the challenges faced by inter-cantonal public transportation in Ecuador due to manual trip time control by implementing an automated system based on the Internet of Things (IoT). Manual recording with mechanical clocks and physical cards generates operational inefficiencies, recurring costs, and errors that impact punctuality and service quality. To tackle this issue, objectives were set to optimize time management. The study was conducted with the entire population of the "Nacional Saquisilí" Transportation Cooperative, consisting of 28 members and one secretary, analyzing the current manual process and identifying its limitations. Subsequently, a prototype was designed and developed, integrating RFID technology for identifying bus arrivals at specific locations, long-range communication via LoRa, and a mobile application developed for drivers, which digitizes the control card, automatically records arrival times, and facilitates the daily management. The development combined the Design Thinking methodology to understand stakeholders' needs and co-create the solution, and the Waterfall methodology to guide the phases of requirement definition, design, implementation, and prototype verification. Field tests demonstrated the system's effectiveness: the average error was reduced from 21,40 % in the first phase to 0 % after adjustments in antenna orientation and tag placement. From an economic perspective, the initial investment was 8.095,45 USD, with an estimated Return on Investment (ROI) of 51 %, confirming the project's technical and financial viability.

Keywords: Design Thinking, Internet of Things, LoRa, Public Transportation, RFID Time Control, Waterfall.

CERTIFICADO

María Fernanda Aguaiza Iza con cédula de identidad número: 050345849-9 Magister en Lingüística Aplicada a la Enseñanza del Inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT: 1020-2021-2354184; CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte para la ortografía de Miguel Ángel Ríos Guiracocha aspirante a Magister en Producción y Operaciones Industriales

Latacunga, octubre, 24, 2025

.....
Mg. María Fernanda Aguaiza Iza

1.2 Problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En Ecuador, el transporte público debe prestarse bajo principios de seguridad, eficiencia, accesibilidad y calidad, según lo establece la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial. Además, la Constitución exige que los servicios públicos implementen mecanismos de medición y atención al usuario, lo que refuerza la obligación de garantizar un servicio conforme a estándares técnicos, especialmente en el ámbito intercantonal [1], [2].

En el contexto del transporte público intercantonal, específicamente en el caso de la Cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí”, persisten deficiencias significativas en la gestión operativa, particularmente en el control y registro de los tiempos de recorrido. A pesar de los avances tecnológicos disponibles, muchas operadoras continúan empleando métodos manuales para esta función, lo que limita el servicio y afecta la calidad percibida por los usuarios. El sistema actualmente utilizado se basa en relojes mecánicos instalados en puntos estratégicos de las rutas, donde el personal debe descender del vehículo para registrar manualmente la hora de paso en formularios físicos. Esta práctica interfiere con la continuidad del servicio, genera retrasos como se observa en el trayecto Latacunga- Saquisilí y expone al personal a condiciones adversas, especialmente en zonas de alto tráfico o durante eventos climáticos desfavorables.

Adicionalmente, el carácter manual del procedimiento conlleva una alta probabilidad de errores en la recolección de datos, ya sea por descuidos involuntarios o alteraciones deliberadas, lo cual compromete la confiabilidad de la información generada. La falta de control automatizado impide realizar un seguimiento efectivo del cumplimiento de frecuencias y horarios establecidos. A ello se suma la carga administrativa generada por el manejo de formularios físicos, lo que retrasa la obtención de indicadores clave para la evaluación operativa y reduce la capacidad de respuesta ante imprevistos.

Estas limitaciones afectan directamente tres aspectos críticos: la calidad del servicio, la eficiencia operativa y los costos asociados a la gestión administrativa. Los usuarios se enfrentan a irregularidades en los horarios y mayores tiempos de desplazamiento, mientras que las operadoras tienen dificultades para optimizar recursos, ajustar itinerarios y cumplir con la planificación establecida. Además, los procesos de supervisión requieren una mayor inversión de tiempo, personal y recursos económicos.

Ante esta situación, la implementación de un sistema IoT para el control de los tiempos de recorrido se plantea como una alternativa viable y estratégica. Este sistema permitiría registrar en tiempo real los horarios de paso, eliminando paradas innecesarias, reduciendo riesgos de accidentes y minimizando los márgenes de error. A su vez, proporcionaría datos confiables y actualizados que facilitarían la toma de decisiones.

El diseño e implementación de esta solución tecnológica debe orientarse a resolver las problemáticas detectadas, asegurando precisión, escalabilidad y compatibilidad con los procesos actuales. En este contexto, resulta fundamental realizar un análisis técnico detallado que considere las particularidades del transporte intercantonal y las condiciones operativas de la ruta Saquisilí–Latacunga, propuesta como caso de estudio para validar la viabilidad y efectividad del sistema planteado.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo impacta económicamente la utilización de métodos manuales en el control de tiempos de recorrido del transporte público intercantonal en la ruta Latacunga- Saquisilí?

1.3 Beneficiarios

1.3.1 Beneficiarios directos

Cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí”: La cooperativa objeto a estudio se conformó de 28 socios, 27 unidades activas, 1 secretaria. Tiene 6 rutas disponibles a ciudades como Latacunga, Sigchos y Quito.

1.3.2 Beneficiarios indirectos

Usuarios de la cooperativa de Transportes “Nacional Saquisilí”: Los pasajeros también se benefician de manera indirecta, estos son alrededor de 2800 al día. Quienes utilizan el servicio de transporte en la ruta Latacunga-Saquisilí que ofrece la cooperativa, reciben beneficios indirectos al mejorar el control de los tiempos en la ruta.

1.4 Justificación

La gestión de tiempos en el transporte público es crucial para garantizar la eficiencia operativa, la puntualidad y la satisfacción del usuario sin costos significativos. Sin embargo, los métodos manuales actualmente empleados son propensos a errores humanos, requieren un análisis posterior que consume tiempo y recursos, y dificultan la optimización en tiempo real de las rutas. Estos procesos afectan de manera directa el funcionamiento del sistema, ya que aumentan los costos operativos y disminuyen la calidad del servicio. Por esta razón, el proyecto se justifica en la necesidad de estudiar y

poner a prueba un sistema de control de tiempos que utilice tecnología IoT, con el fin de corregir las deficiencias detectadas.

Trabajar con un prototipo a pequeña escala permite comprobar su funcionamiento en condiciones reales, controlando los costos y reduciendo los riesgos durante la etapa de validación. De esta forma, se puede analizar con mayor precisión cómo la tecnología contribuye a disminuir errores y optimizar los recursos. Además, el estudio del retorno de inversión (ROI) ofrecerá una base sólida para determinar si su aplicación a gran escala sería económicamente viable y sostenible en el tiempo.

El desarrollo de este prototipo no solo busca mejorar la gestión de las empresas de transporte, sino también aportar un punto de referencia para futuras investigaciones o proyectos similares en el ámbito del transporte público. Si su implementación resulta exitosa, podría generar beneficios importantes para los usuarios al brindar un servicio más confiable, eficiente y adaptado a las necesidades actuales.

1.5 Hipótesis

La aplicación de un sistema IoT en la gestión de tiempos en rutas de transporte reducirá los costos asociados al método manual de registro actual.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Evaluar la aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte, mediante el análisis de funcionamiento y resultados del sistema, para la determinación de su factibilidad técnica y económica.

1.6.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el método actual utilizado en la gestión de tiempos en rutas de transporte, aplicando la metodología Design Thinking, identificando sus limitaciones y áreas de mejora.
- Diseñar un sistema basado en IoT para el monitoreo automático de tiempos en rutas de transporte, empleando una arquitectura de 7 capas, que reemplace el proceso manual existente.
- Analizar la factibilidad técnica y económica del sistema IoT a través de la implementación de un producto mínimamente viable, para la validación de su aplicabilidad en la gestión de tiempos en rutas de transporte.

CAPITULO II

2. Fundamentación teórica

2.1 Antecedentes

2.1.1 Desarrollo de sistemas de monitoreo de transporte público

En [3] se presenta un sistema desarrollado en la India que propone una solución innovadora orientada a mejorar la experiencia del transporte público mediante el uso de tecnología RFID. Este enfoque permite a los pasajeros monitorear la ubicación de los autobuses, reduciendo drásticamente los tiempos de espera en estaciones. La arquitectura del sistema integra etiquetas RFID instaladas en los vehículos y lectores RFID desplegados en las estaciones, los cuales transmiten datos a un servidor centralizado mediante módulos NodeMCU con conectividad wifi. A diferencia de sistemas basados en GPS, esta combinación de RFID y wifi ofrece una alternativa de bajo costo y fácil escalabilidad, ideal para entornos con limitaciones presupuestarias o infraestructura tecnológica básica.

Un aspecto relevante del sistema es la optimización en la comunicación de datos. Los lectores RFID identifican las etiquetas al paso de cada autobús y actualizan de manera inmediata la base de datos alojada en Firebase, incorporando información como la hora de llegada y el estado de la ruta. Esta información se sincroniza con una aplicación Android de interfaz intuitiva, que muestra las estaciones recorridas en color verde y las pendientes en color rojo, facilitando así la planificación del recorrido incluso para usuarios con conocimientos técnicos limitados.

2.1.2 Plataforma de monitoreo vehicular con RFID e inteligencia artificial

Los investigadores de la Universiti Tenaga Nasional, en Malasia, identificaron un problema en el contexto universitarios, el cual afectaba directamente la gestión del tiempo de los estudiantes. Frente a esta situación, el equipo de investigación desarrolló un sistema integrado de bajo costo que combina tecnología RFID de Ultra Alta Frecuencia (UHF) con herramientas de Inteligencia Artificial (IA), con el propósito de ofrecer un seguimiento en tiempo real y estimaciones más precisas del tiempo de llegada de las unidades [4].

El prototipo implementado utiliza un lector YPD-R200, con un alcance aproximado de cinco metros, para detectar etiquetas pasivas instaladas en puntos clave de las paradas. Los datos recopilados son enviados por medio de un microcontrolador WeMos D1 hacia

la plataforma IoT Blynk, donde una aplicación móvil muestra la ubicación del autobús y su tiempo estimado de llegada, calculado a través de un modelo de regresión lineal.

Las pruebas demostraron una tasa de detección del 100 % hasta 2.5 metros en condiciones normales y de lluvia, reduciéndose gradualmente a mayores distancias. Sin embargo, la presencia humana cerca de las etiquetas disminuyó la eficacia al 20 % en 1 metro, evidenciando vulnerabilidad a obstrucciones físicas. En cuanto a la precisión del ETA, el error máximo fue de 2 minutos en tramos cortos, incrementándose en rutas extensas debido a variables como el tráfico.

Para mejorar su precisión y escalabilidad, los autores sugieren integrar lectores RFID y antenas de mayor alcance, así como también modelos avanzados de IA (Random Forest Regression). Este proyecto demuestra el potencial de soluciones IoT accesibles para optimizar el transporte en universidades y ciudades emergentes, con aplicaciones en logística, gestión de flotas y smart cities.

2.1.3 Monitoreo de afluencia y frecuencia con tecnología RFID

El trabajo referenciado en [5] plantea un marco sistémico innovador, orientado a optimizar el servicio de transporte público en la India. En este sentido, la solución tecnológica se basa en la integración de la identificación por radiofrecuencia (RFID), sensores infrarrojos y una arquitectura de aplicación web. De esta manera, busca abordar directamente problemas operativos graves: la congestión recurrente en paradas, la extensión de los tiempos de espera que experimentan los usuarios y los riesgos de seguridad, como accidentes, provocados por la aglomeración de pasajeros.

La arquitectura del sistema se articula sobre varios componentes. Para la identificación, se emplean tarjetas RFID, con lectores situados tanto en los autobuses como en las paradas. El núcleo de procesamiento local recae en microcontroladores Arduino, los cuales reciben información de sensores infrarrojos (IR) usados para detectar movimiento. La gestión de datos en tiempo real, específicamente la monitorización de la ocupación del vehículo y el cálculo de frecuencias, se centraliza en la plataforma en la nube ThingSpeak. Finalmente, la interacción con el pasajero se realiza a través de una aplicación móvil; esta app consulta la geolocalización GPS del autobús y la disponibilidad de asientos, permitiendo al usuario planificar sus viajes con mayor eficiencia [5].

Metodológicamente, el sistema se basa en tecnología RFID pasiva, utilizando tarjetas EM4100 y lectores EM-18 para registrar los ascensos y descensos. Esta data actualiza

automáticamente el estado de ocupación en la plataforma cloud. Los sensores infrarrojos se incorporan como un mecanismo secundario de verificación del conteo. El proceso se complementa con módulos GPS y dispositivos de comunicación inalámbrica ESP8266, encargados de la georreferenciación y el cálculo de distancias entre paradas. La aplicación móvil añade funcionalidades avanzadas como registro de usuarios, gestión de rutas favoritas y notificaciones personalizadas, todo soportado por una base de datos MySQL para la administración de la información [5].

Pese a las ventajas presentadas, la implementación enfrenta desafíos prácticos. El sistema depende exclusivamente de las tarjetas RFID para el conteo, lo que introduce la posibilidad de errores de lectura en momentos de alta densidad de usuarios. A esto se suman los costos de instalación de la infraestructura y el hecho de que no se han realizado pruebas de escalabilidad en rutas de alta demanda. Otro punto débil del diseño actual es la falta de protocolos robustos para la gestión de fallos, como interrupciones de conectividad o desincronización de datos [5].

Si bien el sistema constituye un avance prometedor para la modernización del transporte, su éxito operativo y sostenibilidad a largo plazo exigen superar las limitaciones prácticas identificadas. Como líneas de investigación futura, se considera fundamental integrar sistemas de visión artificial 3D; esto permitiría un conteo automatizado independiente de las tarjetas. Asimismo, será necesario realizar pruebas de validación en entornos urbanos complejos y de alta demanda. La incorporación de estas mejoras podría incrementar la eficacia, confiabilidad y viabilidad del sistema, contribuyendo a un transporte público más inteligente y seguro.

2.2 Marco referencial de la investigación

2.2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son el pilar de la Agenda 2030, un plan de acción global ratificado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2015. Dichos objetivos representan un compromiso mancomunado para enfrentar desafíos críticos como la pobreza, la protección ambiental y la búsqueda del bienestar y la equidad para las generaciones actuales y venideras[6].

OBJETIVOS **DE DESARROLLO SOSTENIBLE**



Figura 2.1 Objetivos de desarrollo sostenible [6]

Las metas a 15 años de los ODS presentados en la Figura 2.1 demandan una acción colectiva de gobiernos, empresas, academia y ciudadanía. El presente proyecto se alinea con esta visión al proponer la sustitución de los relojes analógicos manuales en el transporte público. Se implementará un sistema automatizado con tecnología RFID y una aplicación digital para el monitoreo en tiempo real de los tiempos de operación.

En este contexto, el presente proyecto se alinea con varios de estos objetivos, ya que propone sustituir los relojes analógicos manuales utilizados en el transporte público por un sistema automatizado basado en tecnología RFID, el cual se complementa con una aplicación digital que permite el registro y monitoreo en tiempo real de los tiempos de operación [6].

2.2.1.1 ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

La modernización industrial, la innovación y las infraestructuras resilientes son los ejes del ODS 9. En consonancia, este proyecto busca optimizar los sistemas de control del transporte urbano, un componente crítico para la dinámica de la ciudad, a través de soluciones tecnológicas avanzadas.

Implementar dispositivos RFID para el registro automático del paso de buses, en lugar de los obsoletos procesos manuales, no es solo una actualización: es un salto cualitativo en precisión y confiabilidad. Esta innovación impulsa la transición hacia ciudades inteligentes y promueve la adopción de tecnologías emergentes. De forma crucial, establece una base para la gestión de datos, permitiendo que las decisiones estratégicas de transporte se tomen con mayor fundamento.

2.2.1.2 ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

El ODS 11 busca que las ciudades sean más inclusivas, seguras y sostenibles. En esa visión, el transporte público es fundamental, ya que impacta directamente la calidad de vida y el acceso equitativo a los servicios.

Este proyecto contribuye a ese objetivo mejorando la puntualidad y trazabilidad del transporte. La automatización del registro de horarios reduce la incertidumbre y los errores en los datos operativos, lo cual es un beneficio tangible para usuarios y administradores. Fomentar una movilidad más predecible ayuda, además, a una mejor planificación de rutas y a la reducción del tráfico, promoviendo una ciudad más eficiente.

2.2.1.3 ODS 12: Producción y consumo responsables

El ODS 12 promueve la gestión responsable de recursos y el consumo sostenible. Aunque nuestro proyecto no tiene un enfoque primario ambiental, su implementación genera un impacto indirecto relevante. Concretamente, reduce el uso de materiales físicos y recursos que demandaba el sistema analógico tradicional.

Prescindir de relojes mecánicos, formularios físicos y mantenimiento manual repetitivo minimiza el gasto de insumos y la generación de residuos. Las plataformas digitales resultantes ofrecen una administración del transporte más limpia y eficiente. Este enfoque tecnológico es una aplicación directa de la sostenibilidad en la operación, coherente con el ODS 12, que fomenta la mejora continua mediante el uso consciente de los recursos.

2.2.2 Herramientas y técnicas para el estudio de procesos

2.2.2.1 Metodología Design Thinking

En el ámbito de la investigación, la metodología define los procedimientos sistemáticos para alcanzar objetivos técnicos. El Design Thinking, en particular, es un enfoque versátil orientado a la innovación de productos, servicios y procesos. Se ha consolidado como una estrategia empresarial fundamental para mejorar la competitividad en el mercado [7].

Este enfoque se estructura en cinco fases: empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar. El proceso alterna dos modos de pensamiento: divergente (flare) y convergente (focus). Las fases divergentes, como empatizar e idear, están diseñadas para ampliar el panorama y generar un gran volumen de ideas. En esta etapa, se prioriza la creatividad colectiva sobre la perfección, reconociendo que incluso las propuestas atípicas pueden ser el germen de soluciones valiosas [7].

En contraste, las fases convergentes (definir y prototipar) se centran en filtrar y refinar las ideas más prometedoras. El objetivo es identificar las que pueden convertirse en soluciones concretas, factibles y efectivas. Así, el Design Thinking mantiene un equilibrio entre la exploración creativa y el análisis estratégico, enmarcado en un ciclo de trabajo flexible [7].

2.2.2.2 Diagrama de flujo – Bizagi

Bizagi es una plataforma de gestión especializada en la optimización y automatización de procesos empresariales. Su adopción se ve favorecida por su entorno de desarrollo de bajo código, que agiliza el modelado, la ejecución y la supervisión de flujos de trabajo. Esta flexibilidad la hace apta para entornos corporativos y educativos. Su arquitectura integra modelos de proceso con estructuras de datos, reglas de negocio y permisos, todo sobre un diseño abierto que asegura la interoperabilidad con otros sistemas [8].

Una de sus herramientas clave, Bizagi Modeler, se utiliza para documentar y mapear procesos de negocio mediante diagramas intuitivos. El uso del Modeler facilita una comprensión más profunda de los flujos operativos, estandariza procedimientos e impulsa el trabajo colaborativo. Al generar representaciones claras, la herramienta no solo acelera la toma de decisiones, sino que también ayuda a identificar oportunidades de mejora [9].

La implementación de Bizagi, por tanto, trasciende la simple optimización de la gestión. Actúa como un impulsor de una cultura organizacional enfocada en la eficiencia operativa, la transparencia en los procesos y la búsqueda constante de la mejora continua.

2.2.3 Internet de las cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere al ecosistema de objetos físicos que, al estar conectados a internet, pueden recopilar, compartir y analizar información. Su verdadero potencial no está en los dispositivos en sí, sino en esta capacidad de interconexión, que actúa como un catalizador para la automatización y optimización de procesos. Esta innovación permite que los dispositivos interactúen directamente con su entorno para proveer servicios más avanzados [10].

El impacto económico de esta tecnología es notorio en sectores clave como la producción, los servicios y la exportación. En estas áreas, las tecnologías de la información (TI) han dejado de ser una herramienta de apoyo para convertirse en un pilar de la economía. Generan valor agregado por sí mismas y, a la vez, impulsan la eficiencia y el crecimiento

de otras industrias. La adopción de estas herramientas fortalece la productividad y mejora la competitividad en los mercados globales [11].

En particular, el IoT ha sido el verdadero impulsor de la nueva era de la "manufactura inteligente". Lo logra al tender puentes entre silos que antes estaban separados: personas, procesos, productos e infraestructura. La verdadera magia ocurre cuando esta conectividad total se combina con el análisis de Big Data. Esta sinergia es lo que permite a las organizaciones optimizar operaciones a un nivel granular, obtener información estratégica que antes estaba oculta y, en última instancia, mejorar radicalmente la toma de decisiones basándose en datos precisos. Esta combinación es, hoy por hoy, la clave para la innovación y la sostenibilidad en múltiples sectores[11].

Naturalmente, tal complejidad requería un estándar. En 2014, el Foro Mundial del Internet de las Cosas (IoTWF) presentó una solución. Liderado por gigantes tecnológicos como Cisco, IBM y Rockwell Automation, se desarrolló un marco arquitectónico estandarizado de siete niveles funcionales[12].

Este esquema, que se puede observar gráficamente en la Figura 2.2, se posicionó rápidamente como una alternativa mucho más estructurada a propuestas anteriores. Su gran acierto es cómo integra funcionalidades que se habían vuelto críticas, como la computación periférica (en el borde), el almacenamiento de datos y los diversos protocolos de acceso. Logra esto priorizando una representación técnica que, aunque simplificada en su concepción, no compromete en absoluto la complejidad operativa real [12].

Su estructura jerárquica es la clave: asigna responsabilidades específicas a cada nivel, cubriendo todo el espectro desde la captura inicial de datos hasta el procesamiento centralizado, y todo ello arropado por un enfoque transversal de seguridad multinivel, diseñado para mitigar las vulnerabilidades sistémicas.

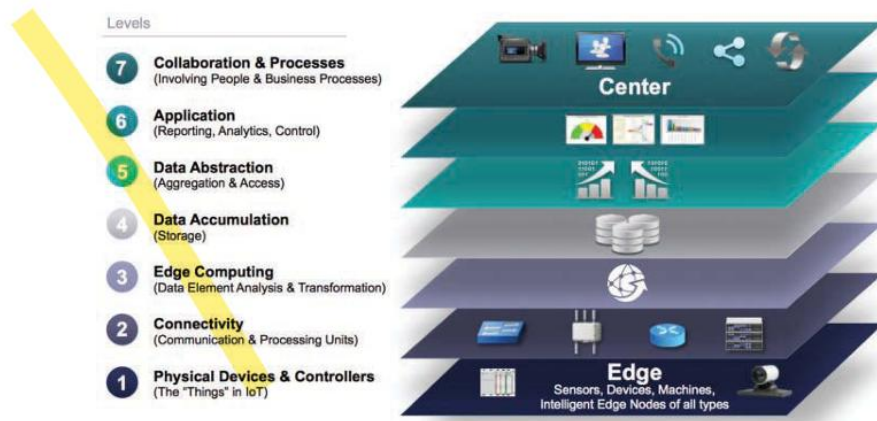


Figura 2.2 Modelo de referencia de IoT [12]

2.2.3.1 Capa 1: Capa de dispositivos físicos y controladores

La base de la arquitectura IoT es su capa inicial, que actúa como la interfaz directa con el entorno físico. Su propósito es doble: capturar datos fiables del "mundo real" y, simultáneamente, convertirlos a un formato digital. Este proceso de digitalización es el pilar de cualquier análisis posterior [13], [14].

Aquí se encuentra una vasta gama de dispositivos, desde sensores microscópicos hasta equipamiento industrial. Cada uno opera como un nodo de la red IoT, con la responsabilidad de generar la data y, simultáneamente, permitir que las capas superiores gestionen o consulten dicha información de forma remota.

La conectividad es un factor crítico. A menudo, las conexiones simples no bastan, por lo que los dispositivos deben establecer redes ad hoc, topologías de malla (mesh) o entornos multisalto. El uso de estas arquitecturas busca mejorar la escalabilidad y la eficiencia de la implementación.

Una vez operativos, la función principal del nodo es transmitir datos. Cada nodo reenvía la información que captura hacia la puerta de enlace (gateway) más cercana o, en algunos diseños, directamente a un módulo de fusión de datos. En todo este trayecto, asegurar la transmisión de los datos hasta la capa de procesamiento es un requisito fundamental para la viabilidad de la aplicación IoT [12], [15].

a) Radio Frequency Identification RFID

El concepto de Internet de las Cosas (IoT) no surgió como una invención aislada, sino que sus fundamentos provienen de la comunidad de Identificación por Radiofrecuencia (RFID). La visión original representaba una expansión en la forma de obtener información de objetos etiquetados. En lugar de limitarse a la lectura de un código

estático, se propuso que las tecnologías RFID y de Comunicación de Campo Cercano (NFC) sirvieran como un nexo para consultar registros completos en bases de datos o direcciones web asociadas [16].

Esta idea prosperó porque se apoyaba en las ventajas muy tangibles de tecnologías de bajo costo como RFID. Sin embargo, el atractivo iba mucho más allá de la simple reducción de gastos. Estas tecnologías ofrecían una fiabilidad considerablemente mayor, un consumo energético notablemente inferior, un rendimiento superior y, quizás lo más importante, protocolos de comunicación flexibles que incluso abrían la puerta a opciones de código y hardware abierto [17].

Para entenderlo, un sistema RFID se articula en torno a tres elementos principales: las etiquetas, el lector y un servidor. Las etiquetas actúan como portadoras de códigos de identificación únicos; el lector los detecta y los transmite al servidor, que es donde se consultan los datos relevantes. Es un sistema que brilla por su alta capacidad de automatización, su precisión en el reconocimiento de identidad y su portabilidad [18].

De hecho, las etiquetas RFID pueden verse como el siguiente paso evolutivo natural de los códigos de barras y los códigos QR. Aunque los códigos 2D son de uso extendido en la cadena de suministro para el seguimiento de artículos, las etiquetas RFID resuelven sus limitaciones más evidentes. Se han posicionado como un sustituto viable, sobre todo en entornos industriales exigentes donde las altas temperaturas o la interferencia de radiofrecuencia harían que un código de barras tradicional falle [19].

El lector RFID es la pieza clave para la identificación automatizada y la transferencia de datos en una red IoT. Su función habilita la comunicación independiente entre dispositivos, un pilar del concepto IoT. El proceso es directo: cuando un objeto etiquetado entra en el radio de acción del lector, este detecta y almacena sus datos, enviándolos a un servidor back-end. Cabe destacar que la eficiencia de esta detección, tanto en alcance como en precisión, está determinada directamente por las especificaciones técnicas de la antena del lector [20].

Como detalla la Figura 2.3 todo el proceso de comunicación RFID es una coreografía entre la etiqueta y el lector, con la participación de la antena, el software de aplicación y la base de datos. Es el software de aplicación el que gestiona activamente el inicio y la transmisión de los comandos de lectura y escritura hacia el lector y las propias etiquetas [20].

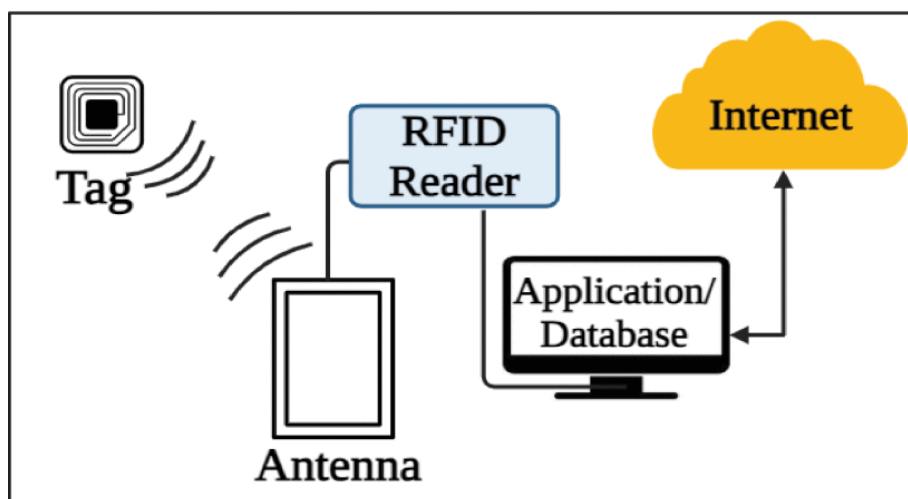


Figura 2.3 Comunicación RFID entre el lector y la etiqueta [21]

Una vez energizado, el ciclo de lectura RFID se activa cuando el lector irradia intencionalmente potencia de radiofrecuencia a través de su antena. Este campo de energía es lo que permite que el proceso continúe: en el instante preciso en que una etiqueta entra en el rango de lectura de dicha antena, su información es inmediatamente recuperada. Finalmente, y esto es crucial para el ecosistema IoT, los datos valiosos que se han obtenido se envían para ser almacenados y gestionados en una base de datos centralizada, la cual típicamente es accesible mediante un servidor en la nube a través de la infraestructura de internet [20].

- Etiquetas Pasivas

Las etiquetas RFID pasivas se definen por su carencia de una fuente de alimentación interna. Su principio de funcionamiento depende de la energía que captan de las ondas de radio emitidas por el lector. Este diseño, que elimina la necesidad de una batería, las convierte en una alternativa con una ventaja económica significativa frente a las etiquetas activas. El proceso de activación se basa en la inducción: las ondas del lector generan una corriente en la antena de la etiqueta, la cual es suficiente para energizar y "despertar" su circuito interno. Una vez activo, el circuito utiliza esa misma energía para modular y retro dispersar la señal de vuelta al lector, transmitiendo así su información [22].

Estas etiquetas se clasifican según su rango de operación, existiendo tres bandas principales:

- Baja Frecuencia (LF): 125 a 134 kHz.
- Alta Frecuencia (HF): 13.56 MHz.
- Ultra Alta Frecuencia (UHF): 860 a 960 MHz.

De estas opciones, la tecnología UHF pasiva es particularmente relevante por sus ventajas funcionales. Permite distancias de lectura mucho mayores y, fundamentalmente, la identificación simultánea de múltiples etiquetas (lectura masiva). Esta capacidad elimina el cuello de botella de la lectura "uno a uno" que limita a otras frecuencias, consolidando a la UHF como la solución preferente para aplicaciones industriales o logísticas que demandan alta eficiencia, escalabilidad y una cobertura amplia [22], [23].

- Etiquetas activas

En contraposición, las etiquetas RFID activas sí incorporan una fuente de energía propia, generalmente una batería, para alimentar su circuito integrado. Si bien esta autonomía les permite alcanzar distancias de lectura significativamente mayores que las pasivas, introduce dos desventajas claras: un costo por etiqueta mucho más elevado y una vida útil limitada, supeditada al agotamiento de dicha batería [22].

2.2.3.2 Capa 2: Capa de conectividad

En la arquitectura de referencia de Internet de las Cosas (IoT), el segundo nivel corresponde a la Capa de Conectividad. Esta capa asume una responsabilidad que, aunque simple en su definición, es absolutamente crucial para el sistema: garantizar que la transmisión de datos entre dos puntos sea tanto fiable como puntual [12], [14].

Esta capa actúa como un puente crucial, gestionando el flujo de datos en dos direcciones principales:

- Desde los dispositivos de la Capa 1 (sensores, actuadores y otros puntos finales) hacia la red.
- Desde la red hacia las plataformas de procesamiento de información situadas en la Capa 3 (comúnmente asociadas con el edge computing o computación en el borde) [12].

El objetivo fundamental es transportar los datos brutos, recopilados por los nodos de percepción (Capa 1), a través de diversos canales de comunicación, tanto cableados como inalámbricos, hacia las unidades donde se procesarán o se tomarán decisiones basadas en ellos [14].

Para que esto funcione, la capa de conectividad se apoya en varios elementos de red. Incluye la conexión directa entre el dispositivo y un punto de agregación llamado gateway (lo que se conoce como "última milla"). También abarca las redes que conectan esos gateways con sistemas más grandes o con internet (el backhaul). De hecho, una tarea

importante de esta capa es la instalación y manejo de estos gateways o estaciones base [12], [24].

La red de acceso es una pieza clave aquí, establece la conectividad de multitud de "cosas" que detectan y recopilan información. No hay una única forma de conectar todo; se emplean múltiples tecnologías y estándares de comunicación para adaptarse a diferentes requisitos de alcance, ancho de banda y consumo energético [14].

a) LPWAN

Las tecnologías LPWAN fortalecen el Internet de las Cosas (IoT) al ofrecer comunicaciones de área amplia, con alcances que superan los 15 km, estableciendo así la base para redes de gran cobertura. Dentro de este paradigma, LoRa y Sigfox son dos de los exponentes más relevantes. Ambas están optimizadas para aplicaciones que requieren una baja tasa de transferencia de datos (low data rate), priorizando en su lugar la máxima eficiencia energética, un diseño compacto y una gran adaptabilidad [25].

Dentro de la arquitectura IoT, LoRa opera como la capa física (PHY). Se basa en una técnica de modulación inalámbrica patentada que utiliza bandas de frecuencia de uso libre (no licenciadas). Esta modulación está diseñada para establecer enlaces de comunicación robustos a larga distancia. El alcance efectivo varía: en entornos urbanos densos puede llegar a 3 km, pero en condiciones óptimas se han medido distancias de hasta 133 km (como en su variante de 2.4 GHz). Esta flexibilidad la convierte en una opción estratégica para la agricultura de precisión, la gestión de flotas vehiculares y el desarrollo de ciudades inteligentes [26], [27].

El planteamiento de Sigfox es distinto. No se limita a ser una tecnología, sino que opera como un proveedor de servicios integral. Su modelo end-to-end implica que la propia compañía gestiona la totalidad del ecosistema, desde los dispositivos hasta la infraestructura de red. Su red, con una fuerte concentración en Europa, se basa en torres de radiobase propias, operando de forma análoga a una red celular, como se observa en la Figura 2.4. Un punto a considerar es que el costo del hardware de sus gateways suele ser superior al de los utilizados en redes LoRaWAN [25], [28].

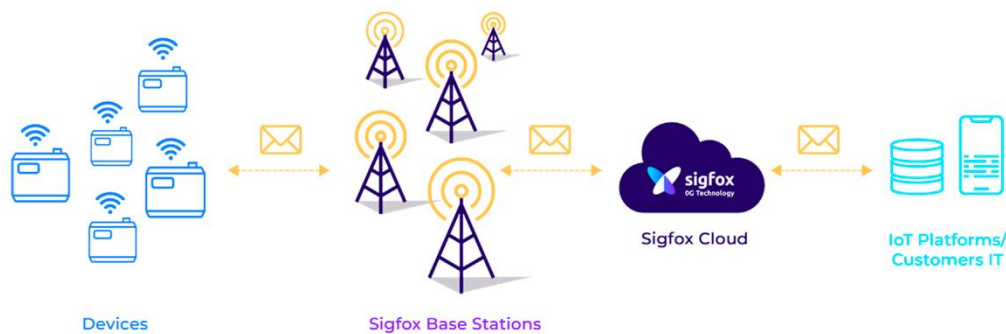


Figura 2.4 Arquitectura de red Sigfox [29]

Por lo tanto, mientras Sigfox apuesta por un modelo de negocio centralizado y propietario, la fortaleza de LoRa radica en la flexibilidad que ofrece al operar sobre espectro libre. Pese a estas diferencias de modelo, ambas tecnologías comparten los beneficios centrales de LPWAN: un consumo energético extremadamente bajo que permite baterías de muy larga duración, optimizando su despliegue en aplicaciones de monitoreo remoto, sensorización ambiental o seguimiento de activos [25], [26].

2.2.3.3 Capa 3: Capa de Edge Computing

Esta capa se centra en una optimización temprana de los datos. Su objetivo es procesar la información lo más cerca posible de su punto de origen, en el borde de la red. Esto se logra reduciendo el volumen de datos y transformando los flujos brutos de red en información estructurada, lista para ser almacenada o procesada en etapas posteriores [12].

Entre sus responsabilidades clave está la evaluación y el triaje de la información. La capa decide si los datos pueden ser filtrados o agregados localmente antes de transmitirlos a niveles superiores, optimizando así el uso del ancho de banda. Además, maneja la adaptación de formato o la decodificación, lo que simplifica la ingesta de datos por parte de los sistemas subsecuentes [12].

a) Protocolos de comunicación

Según la encuesta Eclipse IoT & Edge Developer 2023, la comunicación en IoT está dominada por MQTT (Message Queue Telemetry Transport) y HTTP (Hypertext Transfer Protocol) [30].

MQTT emplea un modelo ligero de publicación-suscripción, diseñado específicamente para minimizar el uso de ancho de banda y los recursos del dispositivo. En contraste, HTTP utiliza el esquema cliente-servidor tradicional de las aplicaciones web. Este último, sin embargo, genera una sobrecarga (overhead) considerable en cada transferencia debido

al tamaño de sus paquetes, lo que puede mermar el rendimiento en redes IoT de capacidad limitada [30].

Un estudio sobre el monitoreo de la calidad del aire en vehículos arrojó un resultado relevante: aunque ambos protocolos sufren pérdida de paquetes, HTTP mostró una tasa de pérdida menor que MQTT, si bien su transmisión fue más lenta. Esto evidencia una disyuntiva (un trade-off) clave: la elección del protocolo depende de si la prioridad del sistema es la eficiencia y el bajo consumo (MQTT) o la estabilidad en la entrega de datos (HTTP) [30].

La principal ventaja de HTTP radica en su alta interoperabilidad. Al ser el estándar de facto en sistemas web, se integra con facilidad en plataformas heterogéneas y simplifica la conexión con interfaces o aplicaciones móviles futuras. Esto lo mantiene como una opción viable si la compatibilidad con infraestructuras existentes es prioritaria [31].

b) Firebase

Firebase, un servicio de Google, opera como una plataforma de Backend-as-a-Service (BaaS) que reduce la complejidad en el desarrollo de aplicaciones. Provee servicios integrados de autenticación, alojamiento, análisis y almacenamiento, eliminando la necesidad de gestionar infraestructuras de servidor propias[32], [33].

Su componente central para IoT es la base de datos NoSQL en tiempo real. Esta permite almacenar y recuperar datos de forma dinámica en formato JSON, siendo accesible mediante una API RESTful. La sincronización instantánea que ofrece entre los dispositivos IoT y la nube es crucial para sistemas que gestionan datos actualizados al segundo, facilitando además el acceso remoto para su análisis [32].

Para la comunicación, Firebase utiliza WebSockets, a diferencia de los ciclos de petición-respuesta de HTTP. Esto garantiza conexiones persistentes y de baja latencia, ideales para las actualizaciones continuas que demanda el IoT. La integración con aplicaciones, especialmente en Android, se estandariza mediante APIs REST, un estilo arquitectónico que define interfaces claras para el intercambio de datos. Cabe destacar que su modelo de acceso gratuito (free tier) ofrece recursos suficientes para las etapas de prueba o desarrollo inicial [32], [34], [35].

2.2.3.4 Capa 4: Capa de acumulación de datos

Esta capa funciona como el repositorio de ingesta de la arquitectura. Su rol es capturar y almacenar los datos crudos generados por los dispositivos IoT, incluyendo la gestión de

eventos en tiempo real. Posteriormente, la información se transforma y organiza en formatos consultables (como bases de datos estructuradas), garantizando así su persistencia y disponibilidad para las aplicaciones o servicios de nivel superior [12].

a) Firestore

Dentro del ecosistema de Firebase, Firestore es la solución de base de datos en la nube de nueva generación. Opera bajo un modelo NoSQL, permitiendo almacenar y sincronizar información entre aplicaciones en tiempo real sin el esquema rígido de tablas y columnas de los sistemas relacionales (como MySQL) [36].

Firebase proporciona los Kits de Desarrollo de Software (SDK) para su integración en múltiples plataformas, incluyendo Android. Admite la sincronización bidireccional con servidores locales, utilizando JSON para mantener la coherencia de los datos. Su arquitectura escalable y descentralizada la posiciona como una opción eficiente para proyectos donde los requisitos del modelo de datos evolucionan constantemente [36].

2.2.3.5 Capa 5: Capa de abstracción de datos

La naturaleza de los datos en IoT es inherentemente heterogénea; es común tener un sensor midiendo humedad en porcentaje y otro midiendo temperatura en Celsius. Esta capa de abstracción aborda ese desafío al actuar como un normalizador semántico.

Su función es unificar la información para asegurar que tenga un significado coherente en todo el sistema. Por ejemplo, si dos sensores usan unidades de medida distintas para la luz, esta capa los convierte a una escala estandarizada (ej. lúmenes). También se encarga de verificar la integridad de los datos (que no falten valores) y de combinarlos en repositorios únicos, garantizando que la información de fuentes dispares sea comparable [12].

2.2.3.6 Capa 6: Capa de aplicaciones

En este nivel, los datos ya procesados y abstractos se convierten en acciones y valor tangible. Es la capa donde reside la lógica de negocio del sistema.

Las aplicaciones consumen la información para supervisar, controlar dispositivos IoT y, fundamentalmente, producir informes analíticos que respalden la toma de decisiones. Esta capa traduce la información en insights operativos, que pueden ir desde ajustes automáticos en un sistema de energía hasta la generación de alertas en tiempo real en un entorno industrial [12].

a) FlutterFlow

El desarrollo de interfaces de usuario (UI) de alto rendimiento se apalanca en frameworks como Flutter, la solución de código abierto de Google. Este permite la compilación nativa para múltiples plataformas (móvil, web y escritorio) partiendo de una única base de código en lenguaje Dart [33], [37].

Sobre esta tecnología opera FlutterFlow, una plataforma de desarrollo low-code diseñada para abstraer y simplificar la implementación. Su enfoque visual, basado en "arrastrar y soltar", permite a los desarrolladores y diseñadores construir prototipos funcionales y aplicaciones robustas, minimizando la necesidad de codificación manual. Además, facilita la conectividad con servicios externos, como APIs REST o bases de datos tipo Firebase y MySQL [38].

En el marco de esta investigación, se optó por FlutterFlow para la implementación de la interfaz de monitoreo del sistema RFID. Esta elección se fundamenta en dos ventajas clave: su capacidad para acelerar el desarrollo de módulos de gestión y visualización de datos, y su compatibilidad nativa con la arquitectura de Firebase, la cual se emplea en este proyecto.

2.2.3.7 Capa 7: Capa de colaboración y procesos

Esta última capa supera la arquitectura tecnológica interna del sistema IoT para enlazarse directamente con los procesos de negocio y las actividades humanas.

Su propósito fundamental es presentar los datos y los insights generados tanto a los usuarios finales como a otros sistemas empresariales. Facilita que la información circule entre distintos departamentos o aplicaciones (por ejemplo, un ERP o un CRM), lo que resulta en una optimización de los flujos de trabajo mediante la colaboración automatizada. Se trata de la capa crucial donde se materializa el retorno de la inversión (ROI) del IoT, pues transforma la información recopilada en valor estratégico tangible [12].

a) Node-RED

Node-RED es una influyente herramienta de código abierto para la programación basada en flujos (flow-based programming), construida sobre el entorno de ejecución Node.js. Su diseño se enfoca en el procesamiento y enrutamiento de datos dentro del ecosistema IoT. En la práctica, actúa como un "integrador" visual que sirve de puente entre componentes de hardware (sensores) y software (APIs, bases de datos) [39], [40]

A través de su interfaz gráfica, Node-RED permite a los usuarios interconectar "nodos", los cuales representan dispositivos, protocolos de comunicación o funciones lógicas. Esta capacidad para vincular sistemas heterogéneos —como leer un sensor vía MQTT, procesar ese dato y luego enviarlo a una base de datos SQL— simplifica de manera notable la integración de sistemas dispares.

El enfoque visual de la plataforma reduce la necesidad de escribir código complejo para tareas de enrutamiento y orquestación de datos. Esto no solo acelera la implementación, sino que también disminuye significativamente la barrera de entrada técnica para los desarrolladores [40].

La flexibilidad de Node-RED, respaldada por una extensa biblioteca de nodos, permite que se adapte a múltiples escenarios de aplicación, ya sean industriales, domésticos o de investigación. Su arquitectura ligera garantiza un rendimiento robusto incluso en sistemas con recursos limitados [40], [41].

2.2.4 Energía limpia para sistemas autónomos

2.2.4.1 Panel solar

Los paneles solares son dispositivos que convierten la radiación solar que atraviesa la atmósfera en energía eléctrica utilizable. Sus ventajas para sistemas autónomos son claras: costos operativos de mantenimiento reducidos, una generación de energía limpia al no producir emisiones directas perjudiciales durante su funcionamiento, y la notable factibilidad de instalación e integración con fuentes energéticas preexistentes [42], [43].

La eficiencia energética de los paneles solares depende fundamentalmente de su correcta orientación e inclinación durante la instalación. Como principio general, los módulos deben orientarse en dirección opuesta al hemisferio geográfico donde se ubican. Respecto a la inclinación, los sistemas con demandas energéticas moderadas suelen implementarse en configuración fija. Sin embargo, en instalaciones de mayor escala destinadas a satisfacer demandas de consumo elevadas frecuentemente incorporan sistemas de seguimiento solar, que ajustan dinámicamente la posición de los paneles siguiendo la trayectoria aparente del sol. Esta estrategia maximiza la captación de radiación solar disponible, aunque incrementa la complejidad técnica y los costos de instalación [44].

Un caso ilustrativo de consideración práctica respecto a la inclinación se observa en Ecuador, país con una alta incidencia solar cercana al cenit durante gran parte del año. En este contexto geográfico específico, se recomienda mantener una inclinación mínima de

5 grados para los paneles, no tanto para optimizar la captación directa de radiación, sino principalmente para facilitar la evacuación natural de polvo y suciedad mediante la acción combinada de la gravedad y las precipitaciones, garantizando así un rendimiento más estable y eficiente a largo plazo [42].

En relación con la durabilidad y viabilidad económica a largo plazo, cabe destacar que los fabricantes habitualmente proporcionan garantías sobre el rendimiento operativo de los módulos fotovoltaicos por períodos extendidos, generalmente comprendidos entre 20 y 30 años [43].

2.2.5 Análisis económico

El análisis económico se utiliza para calcular la diferencia entre las pérdidas económicas que se producirían si el sistema no se aplicara y las ganancias que se obtendrían si se aplicara [45].

La evaluación económica es el análisis comparativo de alternativas de acción en términos de sus costos y consecuencias. Por lo tanto, las tareas básicas de cualquier evaluación económica son identificar, medir, valorar y comparar los costos y las consecuencias de las alternativas consideradas [46].

el retorno de la inversión (ROI) se utilizaron debido a que son indicadores comunes para el análisis económico y, por lo tanto, concluyen la viabilidad y la rentabilidad de un sistema [47].

CAPITULO III

3. Materiales y métodos de la investigación

3.1 Modalidad o enfoque de la investigación

Este estudio adopta un enfoque mixto, cualitativo en el cumplimiento del primer y segundo objetivo específico, y cuantitativo para el tercer objetivo de este proyecto para lograr el estudio de un sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de tiempos en rutas de transporte público.

3.2 Población y muestra de la investigación

La población de estudio está compuesta por todos los choferes de los buses de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”. Para esta fase experimental del estudio, se ha aplicado un muestreo censal, ya que se ha considerado a toda la población de interés, compuesta por los choferes de los buses pertenecientes a la cooperativa.

Esta aproximación se extendió también a los vehículos: se incluyó todas las unidades que estaban en operación. La única condición fue que tuvieran rutas definidas y que sus tiempos de llegada se estuvieran registrando por los dos métodos (el manual existente y el nuevo sistema automático).

Paralelamente a los choferes de los buses, se entrevistó a cada uno de los conductores y al personal administrativo involucrado en la gestión de rutas. Con el objetivo de obtener una visión integral de cómo funcionaba la operación en la práctica, no solo en la teoría.

Optar por un censo completo permitió recolectar información exhaustiva. La ventaja principal fue evitar los sesgos que inevitablemente surgen al trabajar solo con una muestra. Se consideró que esta estrategia era viable y necesaria, dado que la población era accesible y su tamaño manejable, lo cual garantizaba la solidez de los datos para el análisis experimental.

3.3 Métodos y técnicas de la investigación

3.3.1 Métodos teóricos de la investigación

Revisión bibliográfica: Se recopiló antecedentes sobre sistemas de monitoreo en transporte público, metodologías IoT y estudios previos relacionados.

Análisis comparativo: Se comparó los resultados obtenidos con estudios similares para evaluar la efectividad del sistema propuesto.

3.3.2 Métodos empíricos de la investigación

Observación directa: Se analizaron los tiempos de registro manuales y se documentarán las dificultades operativas.

Entrevistas: Se aplicaron a conductores y administradores para evaluar la percepción del sistema, sus beneficios y limitaciones.

3.4 Técnicas e instrumentos de la investigación

Métodos Visuales: Revisión de videos, para explorar las perspectivas de los participantes

Grupos focales: Se analizarán grupos focales formados por chofer, socio, ayudante y usuarios.

Entrevistas: Orientadas a socios, choferes, usuarios.

3.5 Diseño experimental

El proyecto emplea la metodología Design Thinking para la fase de investigación y análisis de la información recopilada mediante los instrumentos de diagnóstico. Con base en los hallazgos obtenidos, se diseñó e implementó una solución IoT a la medida de los requerimientos identificados, para lo cual se siguió el enfoque estructurado de la metodología Waterfall. El objetivo final es evaluar si la solución IoT implementada logra optimizar los recursos de la cooperativa de manera efectiva.

En la Figura 3.1 se representa el uso y combinación de estas metodologías para el desarrollo de una solución innovadora orientada al cliente, empatizando con los involucrados, y construyendo una solución a medida mediante un producto mínimamente viable para comprobar factibilidad técnica y económica.

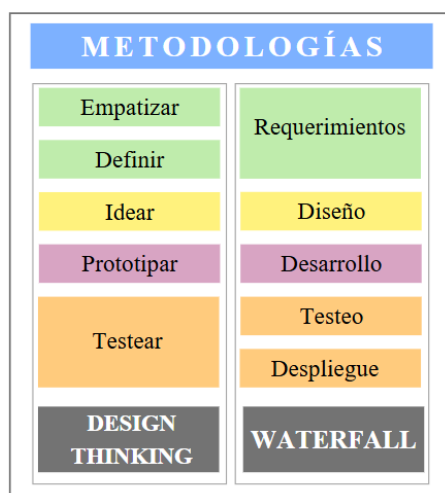


Figura 3.1. Combinación de la metodología utilizada. (Design Thinking y Waterfall)

3.6 Propuesta de investigación y validación

La validación del sistema se realiza en tres etapas:

Fase de prueba: Se instalaron los dispositivos IoT en todos los buses y se recolectaron datos preliminares.

Fase de evaluación: Se analizan los datos recopilados, comparándolos con los métodos manuales actuales.

Fase de ajuste y mejora: Se realizaron ajustes en el sistema con base en los resultados y retroalimentación de los operadores.

Para finalmente calcular el retorno de la inversión y comprobar si el sistema puede constituir a un beneficio económico a la cooperativa.

3.7 Situación actual de la cooperativa “Nacional Saquisilí”

Durante la primera visita a las instalaciones de la Cooperativa de Transporte Nacional Saquisilí, se identificó que actualmente el registro de tiempos de llegada en puntos específicos de las unidades se realiza de manera manual mediante un sistema basado en tarjetas físicas. Estas tarjetas son insertadas en un mecanismo denominado “reloj”, el cual es de tipo mecánico y se encuentra instalado frente a la oficina de la cooperativa.

Este reloj puede ser adelantado o retrasado manualmente, lo que ha generado antecedentes de manipulación no autorizada del dispositivo, afectando la confiabilidad de los datos registrados. Adicionalmente, el reloj opera con batería recargable que tiene una duración de aproximadamente un día, por lo que se carga cada noche para garantizar su funcionamiento al día siguiente. El último dispositivo de este tipo funcionó durante diez años, pero tras una avería dejó de operar definitivamente y no fue posible repararlo. Actualmente, solo se dispone de un sistema de este tipo y su uso está restringido a la ruta Latacunga - Saquisilí.

El diagrama de flujo presentado en la Figura 3.2 representa el proceso actual del sistema de control de horario mediante el reloj mecánico utilizado por la Cooperativa de Transporte Nacional Saquisilí. Este proceso se ejecuta diariamente, iniciando con la entrega y validación de la tarjeta de control por parte del conductor y finalizando con el almacenamiento de dichas tarjetas al cierre de la jornada.

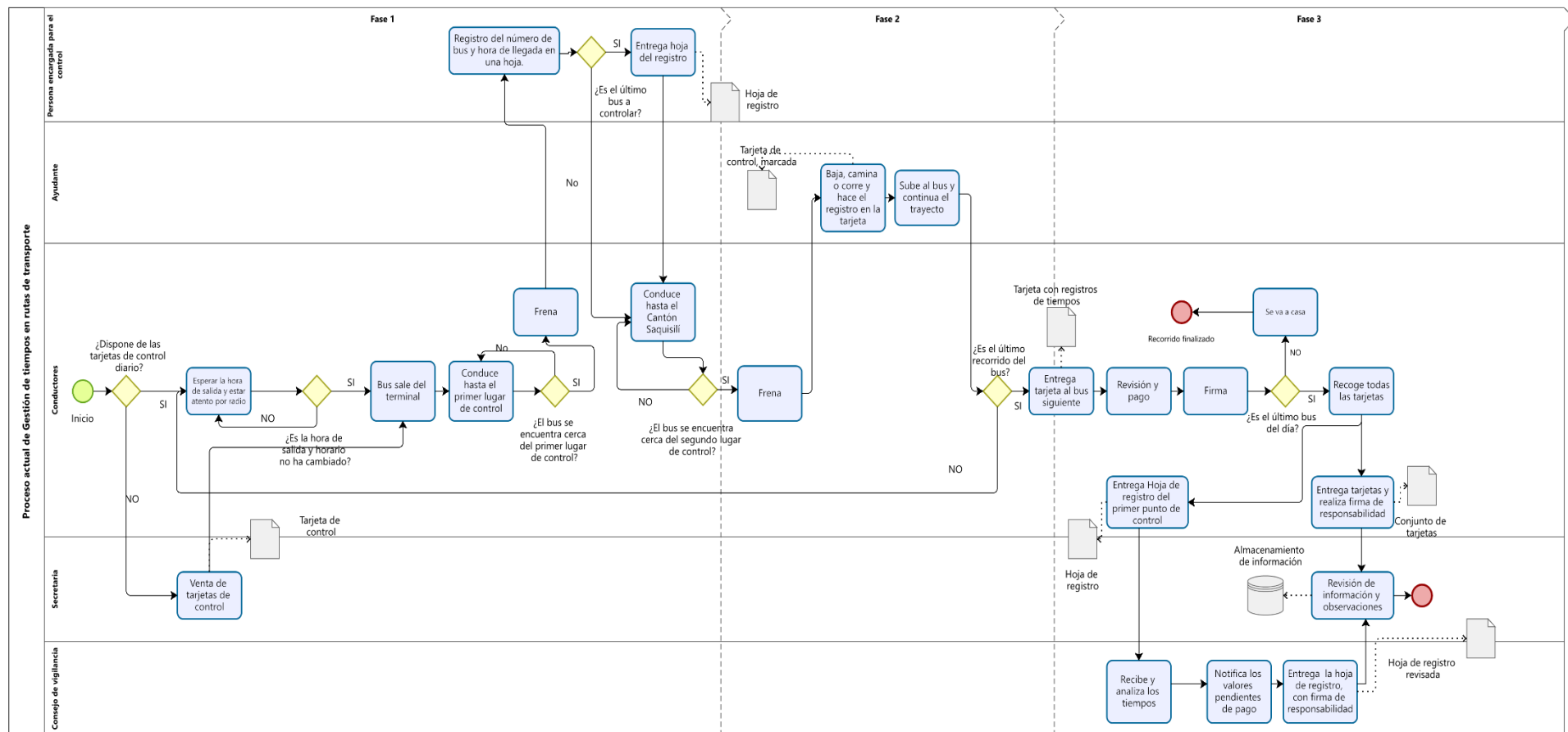


Figura 3.2 Proceso actual del sistema de control de horario mediante el reloj mecánico

Como parte de su sistema de control, la cooperativa se apoya en una persona apostada en una garita, metros después de la gasolinera del mayorista. Este individuo no es exclusivo de la cooperativa; ofrece sus servicios a varias empresas de transporte. Su trabajo consiste en registrar a mano en hojas de papel cuadriculado la hora en que los buses cruzan por ese punto. No se trata de una parada obligatoria ni existe un reloj oficial en el lugar; el registro es puramente visual. Cada anotación, conocida en el argot como "picada", tiene un costo de 10 centavos.

Este método, si bien operativo, es inherentemente frágil y limitado. Depende de procesos físicos y de la manipulación manual de relojes, abriendo la puerta a la falta de precisión. Una brecha crítica es la ausencia de almacenamiento digital, lo que anula cualquier posibilidad de análisis posterior o de generar informes que ayuden a la toma de decisiones.

La ineficiencia se extiende a la gestión interna. El proceso actual para revisar las tarjetas de ruta e imponer multas (ya sea por incumplimiento de horarios o por tarjetas perdidas) es un cuello de botella lento y propenso a errores. Esto, naturalmente, genera insatisfacción entre los conductores y complica la gestión operativa.

Ya existió un intento de modernización. Se instalaron dispositivos GPS en las unidades, con un costo que osciló entre \$75 y \$150 por bus, además de una tarifa mensual de \$10 por vehículo. El proyecto fracasó. La plataforma asociada generaba informes extensos y virtualmente indescifrables para el personal, llegando a producir seis páginas diarias por cada unidad. Además, la geolocalización de los GPS no era exacta, lo que inducía a errores al validar el cumplimiento de las rutas. Dadas estas complicaciones, el sistema fue finalmente descartado.

En cuanto al sistema actual basado en tarjetas, el reloj mecánico tiene un costo de 850 dólares, más IVA el valor total es de 952 dólares, e incluye únicamente el reloj. Este sistema también requiere tarjetas físicas, cuyo precio es de 1 dólar por cada 20 tarjetas. Cada unidad utiliza una tarjeta por día; considerando que la cooperativa cuenta con aproximadamente 14 buses operativos diarios, se requiere este número de tarjetas diariamente. Las tarjetas son entregadas por el último bus en llegar, cuyo conductor debe presentarse en secretaría, firmar y entregar todas las tarjetas recolectadas. Si alguna tarjeta no es entregada, se debe notificar, y el bus correspondiente dispone de un plazo de dos días para regularizar la entrega. La no entrega conlleva una multa de 10 dólares.

Adicionalmente, los conductores deben revisar la tarjeta de su predecesor para verificar que no haya existido alteración en los tiempos. Esta revisión se realiza durante los turnos de espera. Si un conductor no realiza dicha verificación, también incurre en una multa de 10 dólares.

La ruta Saquisilí - Latacunga se controla mediante un pizarrón, cuya planificación semanal está a cargo de una persona designada por un período de seis meses. No existe un horario fijo de salida; el despacho se realiza en función de la competencia, Cooperativa De Transporte En Buses Los Iliniza. La comunicación se lleva a cabo mediante radio, y los buses salen justo antes de la llegada de la competencia. Desde Saquisilí hacia Latacunga no se realiza control de tiempos.

Actualmente, no existe un respaldo digital de las tarjetas, y estas únicamente se utilizan para imponer sanciones. Se establece que el recorrido Latacunga – Saquisilí o viceversa debe completarse en 25 minutos, mientras que el trayecto desde el terminal hasta la garita debe ejecutarse en 11 minutos, con una tolerancia de 2 minutos adicionales por causas fuera de control (tráfico, operativos, etc).

3.8 Estudio de la situación a través de la metodología Design Thinking.

La metodología Design Thinking se ha consolidado como una herramienta clave para la identificación y resolución de problemas complejos, centrando el proceso en las necesidades reales de los usuarios. Su enfoque humanizado permite comprender a profundidad los contextos, experiencias y expectativas de las personas involucradas, lo que facilita la generación de soluciones innovadoras y viables.

A continuación, se aborda el uso de Design Thinking como base para diagnosticar y analizar las deficiencias en la gestión operativa del transporte intercantonal de la Cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”. A través de sus etapas: empatizar, definir, idear, prototipar y testear, se busca no solo determinar el problema central que afecta a la organización, sino también explorar alternativas que optimicen los procesos y mejoren la calidad del servicio.

3.8.1 Empatizar con los beneficiarios del proyecto

Para comprender la raíz de los problemas en el servicio de transporte de la ruta Latacunga - Saquisilí, la fase inicial del proyecto se centró en un proceso de empatía. Dicho proceso implicó un acercamiento directo con los actores clave de la cooperativa, orientado a analizar sus motivaciones reales, preocupaciones y necesidades concretas.

3.8.1.1 Perfil de persona

Para la definición del usuario, se implementó la metodología de "perfil de persona" (user persona). Esta técnica se centra en la construcción de un arquetipo basado en datos reales, diseñado para representar al grupo objetivo del proyecto, que en este caso corresponde a la directiva de la Cooperativa de Transporte Saquisilí.

El valor de esta herramienta radica en su capacidad para condensar la información clave obtenida sobre el cliente, incluyendo sus patrones de conducta, necesidades específicas y motivaciones, en un perfil tangible. Mantener este perfil como referencia es un paso crítico para asegurar que el diseño de la solución conserve un enfoque empático y centrado en el usuario.

Para este análisis se elaboró el perfil de un directivo de la cooperativa, el cual se muestra en la Figura 3.3. La elección de este rol se justifica puesto que sobre él recae la máxima responsabilidad administrativa, además de la obligación de velar por el cumplimiento normativo y la autoridad en la toma de decisiones estratégicas.

El perfil describe a un hombre de 54 años, con más de dos décadas de experiencia en el negocio del transporte. Si bien este bagaje le confiere un profundo entendimiento del sector, su adopción tecnológica es limitada. Maneja con soltura herramientas cotidianas como teléfonos inteligentes y redes sociales, pero muestra resistencia activa hacia sistemas que percibe como excesivamente complejos, difíciles de operar o que implican un alto costo.

JUAN

- 54 años, directivo de la cooperativa de transporte Nacional Saquisilí , con más de 20 años en el negocio del transporte.
- Tiene conocimientos básicos de tecnología; usa smartphone y redes sociales, pero no maneja sistemas complejos.
- Su objetivo principal es cumplir con las normativas legales del transporte y mantener el servicio eficiente sin elevar los costos. Busca equilibrar economía con modernización.
- Se preocupa por la satisfacción del usuario y por evitar sanciones por incumplimiento de normas. Le inquieta que la cooperativa de transporte Nacional Saquisilí pierda credibilidad o clientes por demoras y mala organización.
- Está motivado por la tradición familiar en el negocio y los ingresos que genera. Sin embargo, teme que nuevas tecnologías impliquen gastos altos o resistencia de los socios.
- Participa en la toma de decisiones colectivas, que suelen ser lentas porque dependen del consenso de los socios. Prefiere soluciones prácticas, económicas y fáciles de implementar.

Figura 3.3 Perfil de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”

En cuanto a sus motivaciones, su principal motor es cumplir con las normativas legales para evitar sanciones, asegurar la continuidad del servicio y proteger la reputación de la cooperativa. Le preocupa la satisfacción del usuario y teme que los retrasos o los incumplimientos deterioren la credibilidad de la organización. Si bien es consciente de que la modernización es necesaria, le inquieta que las nuevas tecnologías impliquen altos costos o generen resistencia por parte de los socios. Por esta razón, prioriza soluciones que sean prácticas, económicas y fáciles de implementar, especialmente si no causan fricciones internas. En cuanto a su comportamiento, participa activamente en la toma de decisiones colectivas, un proceso que suele ser lento debido a la necesidad de consenso entre los socios. Suele expresar frases como “debemos modernizarnos” o “necesitamos un mejor control de nuestros tiempos”, reflejando su intención de cambio, pero también la dependencia de acuerdos grupales. Esta información resulta fundamental, ya que el perfil evidencia los dolores (falta de control y errores manuales), las necesidades (automatización y confiabilidad de datos) y las barreras (costos, resistencia al cambio) que deben considerarse en la solución.

3.8.1.2 Mapa de empatía

- **Directivos**

El mapa de empatía aplicado a los directivos de la Cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí” permitió comprender en profundidad sus percepciones, necesidades y preocupaciones respecto a la gestión operativa y la implementación de mejoras tecnológicas. Esta herramienta fue clave para identificar no solo lo que expresan de manera explícita, sino también aquello que sienten, piensan y temen en su rol directivo.

La información del mapa, mostrado en la Figura 3.4, se obtuvo principalmente a través de entrevistas y conversaciones directas con miembros de la directiva, mediante la observación en reuniones como se muestra en las fotos del Anexo I. Estas interacciones evidenciaron que los directivos piensan constantemente en la reducción de errores y alteración de las tarjetas, en cómo optimizar recursos y en el impacto que la competencia tiene sobre su cooperativa. Este pensamiento estratégico surge porque la directiva busca equilibrar modernización con sostenibilidad económica, una preocupación reiterada en sus comentarios y decisiones.

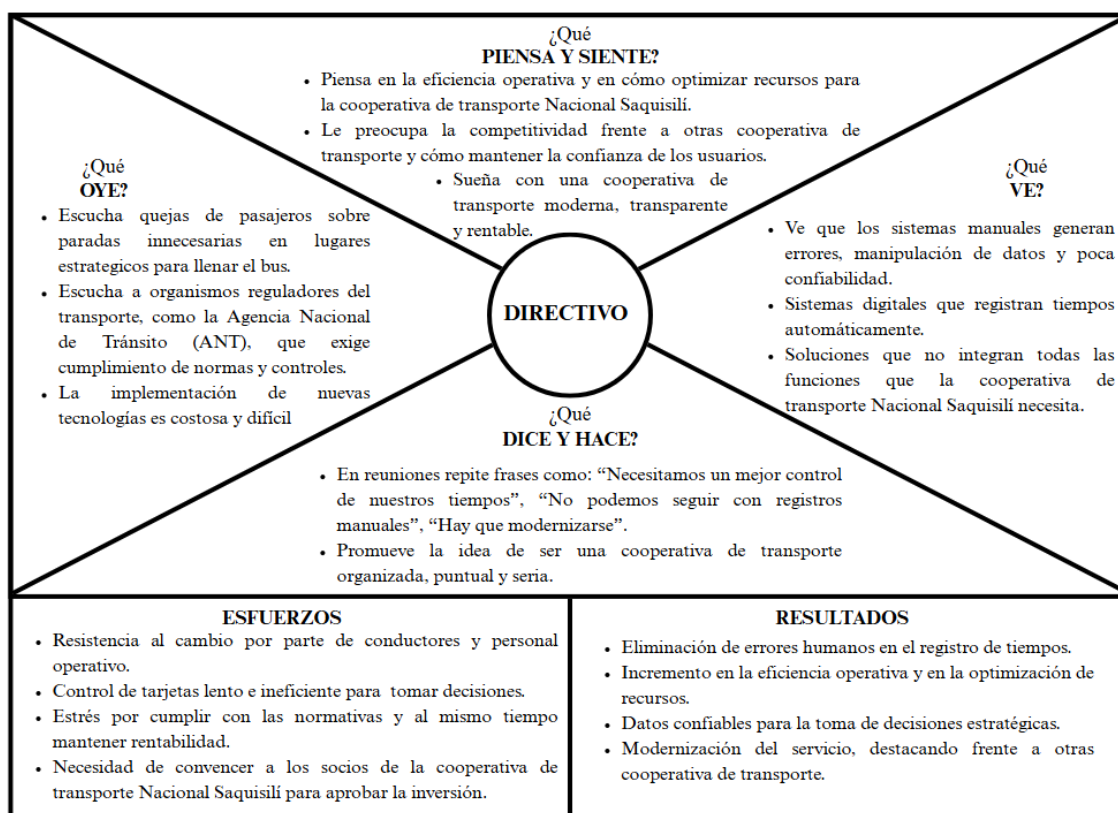


Figura 3.4 Mapa de empatía de la directiva de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”

En el apartado de “lo que ven”, se identificó que los directivos son conscientes de que los sistemas manuales actuales generan errores, manipulación de datos y poca confiabilidad. Esta percepción se detectó cuando manifestaron frases como “no podemos seguir con registros manuales”, lo cual refleja su disposición hacia la digitalización, aunque condicionada por la necesidad de soluciones completas y adaptadas a sus procesos. El mapa también evidencia que observan soluciones tecnológicas en el mercado, pero consideran que muchas no integran todas las funciones que la cooperativa necesita, además de tener sistemas complejos para adaptarse.

Por otro lado, en lo que oyen, la influencia de las quejas de los pasajeros sobre paradas innecesarias y largas esperas aparece como un factor determinante en su percepción. Este hallazgo se obtuvo al viajar in situ en el bus y escuchar cómo los pasajeros expresaban su molestia y pedían que el conductor se apurara cuando el trayecto se prolongaba. Esto confirma que su enfoque principal no solo es interno (optimización), sino también externo (credibilidad y regulación).

Respecto a lo que dicen y hacen, el análisis muestra que los directivos promueven activamente la idea de una cooperativa organizada y moderna, repitiendo en reuniones frases sobre la necesidad de mejor control y modernización. Sin embargo, en la práctica, los cambios avanzan lentamente debido al proceso de toma de decisiones colectivas, que depende del consenso de los socios, lo que genera una resistencia indirecta al cambio.

Finalmente, lo que el mapa de empatía detectó en los directivos es una tensión fundamental: están atrapados entre la necesidad de actualizarse y las limitaciones de su propia organización. Existe una resistencia cultural al cambio, serias dificultades para lograr un consenso entre todos los socios y una preocupación constante por mantener la rentabilidad mientras se intentan cumplir las normativas.

De ahí que el mapa refleje expectativas aparentemente contradictorias: quieren eliminar los errores humanos y obtener datos fiables para la toma de decisiones, pero temen la tecnología que lo permite. En esencia, los directivos quieren modernizarse para ser competitivos, pero necesitan hacerlo de forma gradual, económica y consensuada, sin perturbar la cultura organizacional. Comprender esta dualidad fue la clave para diseñar una solución viable.

- **Choferes**

En el caso de los choferes, el mapa de empatía ayudó a decodificar las presiones que enfrentan a diario. La información, recopilada en conversaciones informales en las terminales y mediante observación directa, reveló sus verdaderas conductas y emociones.

Como se observa en la Figura 3.5, el estrés es el factor dominante. Viven presionados por cumplir los horarios, lo que puede acarrear sanciones o reclamos, pero al mismo tiempo sienten la presión de "completar el cupo" de pasajeros, ya que de eso depende la rentabilidad del viaje.

Se enfrentan a un conflicto interno constante: salir a tiempo significa perder ingresos (menos pasajeros), pero esperar a llenar el bus genera retrasos, inconformidad y estrés.

En lo que respecta a “lo que ven”, el análisis reveló que los choferes observan un sistema operativo basado en registros manuales, con relojes mecánicos en puntos de control y hojas físicas, lo que resulta poco confiable y genera riesgos de errores. También han escuchado sobre sistemas IoT para automatizar los tiempos, pero los perciben como complejos y costosos, lo que crea desconfianza hacia la tecnología y refuerza su preferencia por métodos tradicionales. Este hallazgo fue evidente en frases como “esos sistemas son caros y difíciles”.

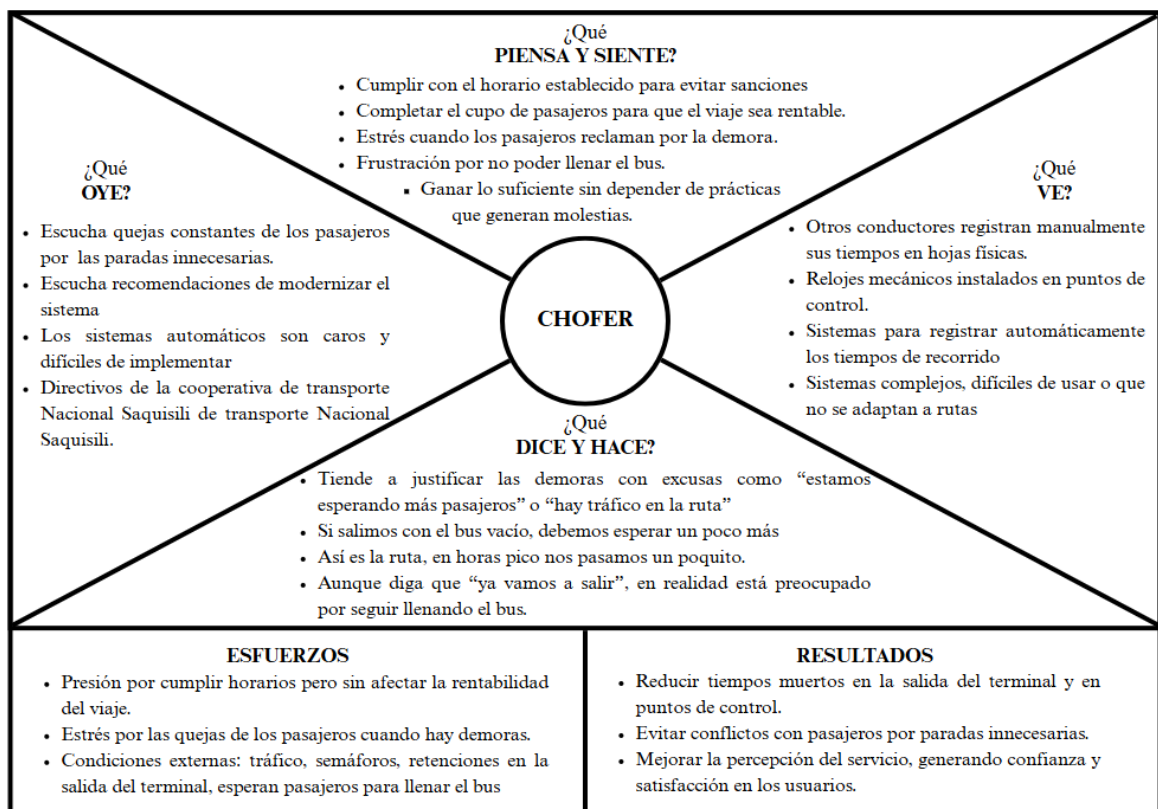


Figura 3.5 Mapa de empatía del chofer de la cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí”

En “lo que oyen”, los choferes reciben constantemente quejas de pasajeros por paradas innecesarias y recomendaciones de modernización del sistema por parte de la directiva. Esto genera presión adicional, ya que deben conciliar las exigencias de los usuarios, los lineamientos de la cooperativa y su necesidad de rentabilidad. La percepción de que las autoridades y la directiva insisten en cambios tecnológicos también contribuye al estrés y la resistencia.

En cuanto a “lo que dicen y hacen”, tienden a justificar las demoras con explicaciones como “estamos esperando más pasajeros” o “hay tráfico en la ruta”. Estas frases revelan que priorizan la rentabilidad sobre la puntualidad, aunque reconocen que las demoras afectan la imagen del servicio. En la práctica, adoptan estrategias como esperar más tiempo en terminales o realizar paradas adicionales y esperar más pasajeros para completar el cupo, aunque estas acciones contradicen las normativas internas.

Los esfuerzos identificados incluyen la presión por cumplir horarios sin sacrificar ingresos, el estrés ante los reclamos de pasajeros y las dificultades externas como tráfico, retenes o semáforos que influyen en los tiempos de recorrido. Esto se traduce en una fuerte carga emocional y en la necesidad de tomar decisiones rápidas en condiciones adversas.

Finalmente, los resultados esperados por los choferes se centran en reducir los tiempos muertos en puntos estratégicos para esperar pasajeros, evitar conflictos y mejorar la percepción del servicio. Esto demuestra que, aunque se resisten a la tecnología por costos y complejidad, valoran las soluciones que les permitan optimizar tiempos sin afectar la rentabilidad.

En síntesis, el mapa evidencia que los choferes son un grupo clave para el cambio, pero su resistencia no se debe a rechazo absoluto, sino al miedo a perder ingresos o enfrentar sistemas difíciles de usar. Por lo tanto, cualquier solución tecnológica debe ser simple, económica y compatible con su dinámica diaria, acompañada de capacitación que reduzca la sensación de amenaza.

- Pasajeros

El mapa de empatía de los pasajeros refleja claramente las principales percepciones y emociones que experimentan los usuarios del servicio de transporte intercantonal Saquisilí. Este análisis, visualizado en la Figura 3.6, se construyó directamente de la observación en campo y del registro de comentarios recogidos durante los trayectos.

Dicha metodología fue crucial para comprender las verdaderas preocupaciones y expectativas de los usuarios.

Se pudo constatar que los pasajeros mostraban un descontento frecuente. Esta impaciencia se manifestaba verbalmente con frases como “¡Ya vamos!” o “¡Apure!” e, incluso, físicamente, llegando a golpear la estructura del vehículo como método de presión hacia el conductor. Asimismo, se detectó que los pasajeros comparan el servicio con alternativas informales, como el transporte pirata, que perciben como más rápido y eficiente, aunque implique un riesgo.

En cuanto a lo que ven, el análisis muestra que los usuarios son testigos del tiempo excesivo que el bus permanece detenido esperando pasajeros, así como de la competencia entre conductores y transportes ilegales por captar pasajeros, lo que refuerza su percepción de ineficiencia. Lo que oyen, tanto de otros pasajeros como de su círculo cercano, refuerza la idea de que el transporte informal es una solución más rápida, lo que influye en su decisión futura.

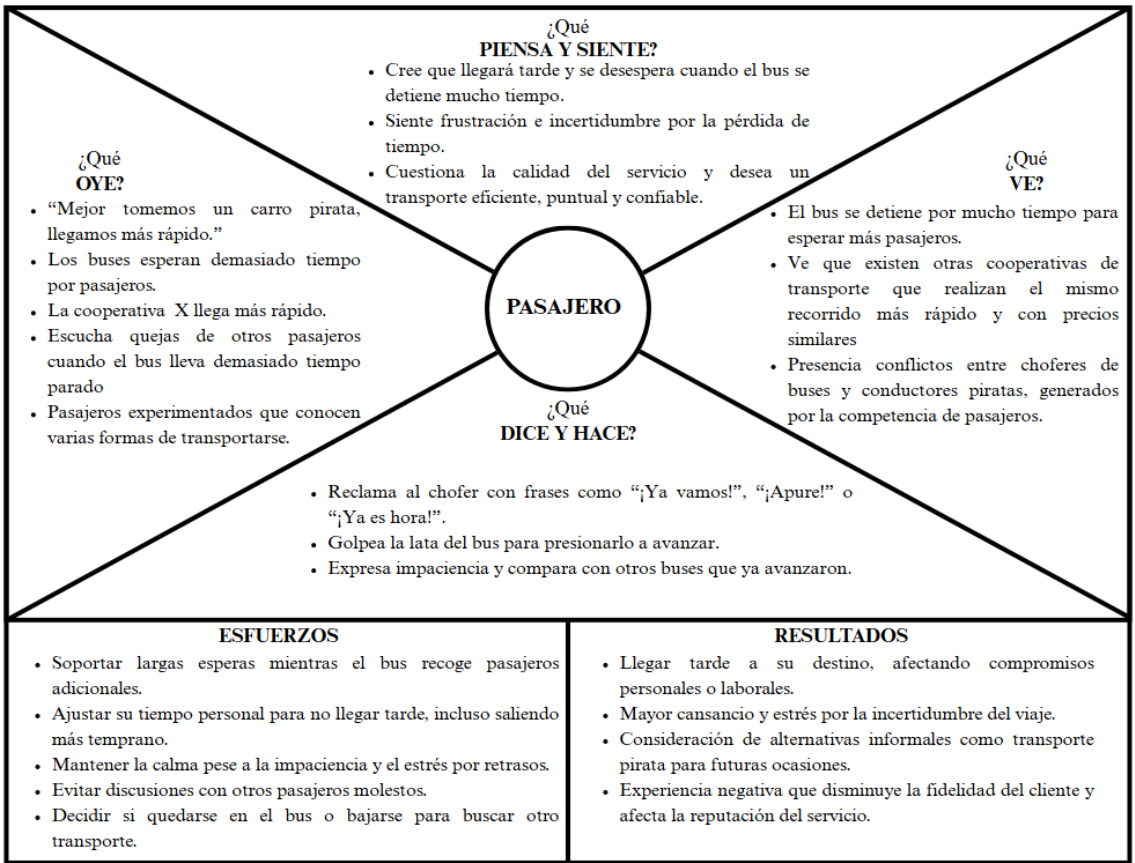


Figura 3.6 Mapa de empatía de pasajero que ocupa el servicio de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”

Los esfuerzos identificados indican que los pasajeros deben ajustar su rutina, salir con más anticipación y soportar el estrés del retraso. Finalmente, los resultados obtenidos por ellos han sido llegar tarde a compromisos, experimentar cansancio y desconfianza hacia el servicio, lo cual genera una experiencia negativa que pone en riesgo la fidelización del cliente y la reputación de la cooperativa. Este análisis es clave para comprender que el problema central no es solo operativo, sino también perceptivo, ya que la imagen de la cooperativa se deteriora ante cada incumplimiento de tiempo.

- Análisis en base a las opiniones de los implicados

El análisis realizado mediante el perfil de persona y los mapas de empatía para directivos, choferes y pasajeros permitió comprender de manera profunda las percepciones, emociones, motivaciones y frustraciones de cada actor involucrado en el servicio de transporte intercantonal. Esta etapa evidenció que, aunque todos forman parte del mismo sistema, existen diferencias significativas en sus prioridades y expectativas, lo que genera tensiones que afectan la calidad del servicio.

Por un lado, la directiva se enfoca principalmente en el cumplimiento normativo y la estabilidad económica, mientras que los choferes priorizan la rentabilidad individual a través de estrategias como la espera por más pasajeros, lo que entra en conflicto con la expectativa del cliente final. Los pasajeros, en cambio, demandan puntualidad, rapidez y confianza, y al no encontrar estas características en el servicio actual, optan por alternativas informales, afectando la fidelización y la competitividad de la cooperativa.

Esta comprensión detallada de los puntos de vista y necesidades de cada actor constituye la base para la siguiente fase del proceso: definir. A partir de la información recopilada, se identificará el problema central, sus causas y la oportunidad de mejora, orientando la búsqueda de soluciones innovadoras que equilibren la rentabilidad del servicio con la satisfacción del usuario.

3.8.2 Definir el problema presente en la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”

La etapa de Definición es un puente crítico entre la empatía y la ideación. Su propósito central es sintetizar toda la información recopilada durante la fase de empatía (como los mapas de empatía, entrevistas y observaciones) para identificar el problema central de manera precisa y relevante. No se trata solo de describir un síntoma o una queja superficial, sino de formular un problema que, al resolverse, genere un impacto

significativo y sirva como inspiración para la generación de ideas creativas en la siguiente etapa.

3.8.2.1 Árbol de problemas

- Identificar claramente el problema

A partir de los datos obtenidos en la etapa de Empatizar, se procedió a realizar una lluvia de ideas, la cual se observa en la Figura 3.7 para identificar y listar todos los problemas, dolores y frustraciones, sin filtrar o priorizar en un inicio.

El objetivo de esta lluvia de ideas fue desglosar la experiencia completa en problemas específicos y observables, para luego poder sintetizarlos y encontrar el problema central que los unifica a todos.

El análisis de la lluvia de ideas reveló que estos problemas podían agruparse en tres categorías principales: fallas tecnológicas y de datos, presiones operativas derivadas de un modelo de negocio obsoleto, y barreras culturales y de conocimiento.

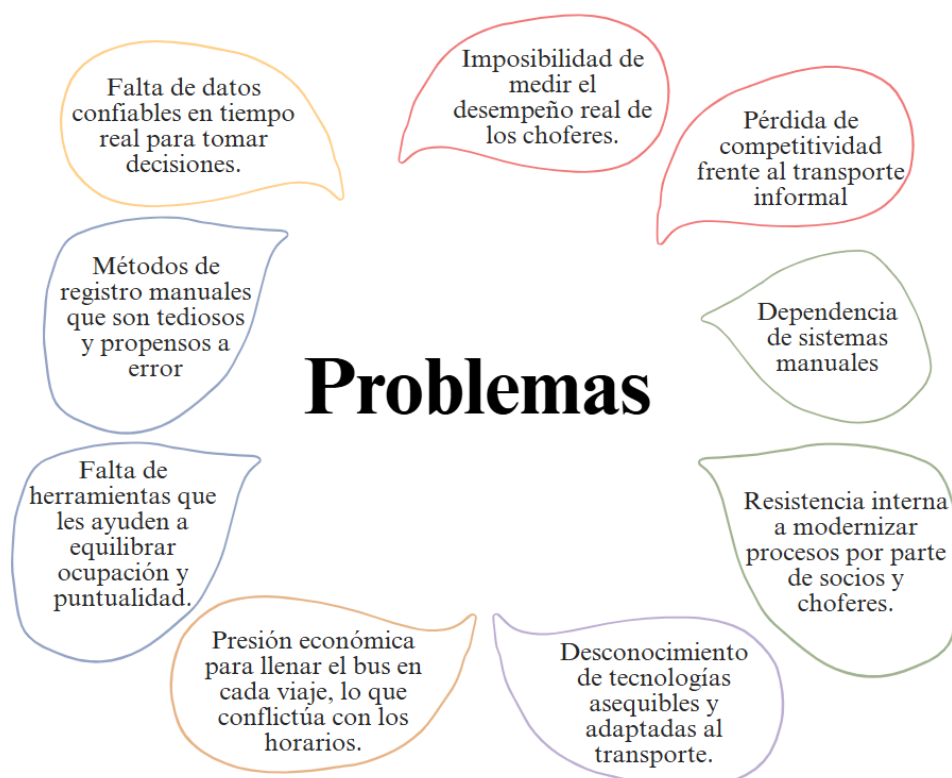


Figura 3.7 Lluvia de ideas de los problemas presenciados en la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”

La relación entre estas categorías mostró un ciclo vicioso claro. La dependencia de sistemas manuales se identificó como una causa raíz técnica. Este método genera una

falta de datos confiables en tiempo real, lo que a su vez provoca dos graves consecuencias: por un lado, una imposibilidad de medir el desempeño real de los choferes y de optimizar las rutas, y por otro, deja a la directiva sin información para tomar decisiones estratégicas, lo que contribuye a la pérdida de competitividad frente al transporte informal.

Por lo tanto, el problema central unificado se sintetizó como:

La dependencia de sistemas manuales que generan datos inexactos, lo que crea un conflicto entre puntualidad y rentabilidad, desencadenando problemas por alteración de las tarjetas generando desconfianza en el servicio.

- Árbol de efectos

Una vez definido el problema central, se realizó una lluvia de ideas de los efectos que este puede desencadenar, centrándose en aquellos que ya se manifestaban como en la Figura 3.8 y en los que constituían una amenaza futura si no se intervenía a tiempo como se muestra en Figura 3.9. Esta lluvia de ideas se organizó priorizando los efectos según su impacto en la sostenibilidad de la cooperativa, desde consecuencias operativas inmediatas hasta riesgos existenciales a largo plazo.

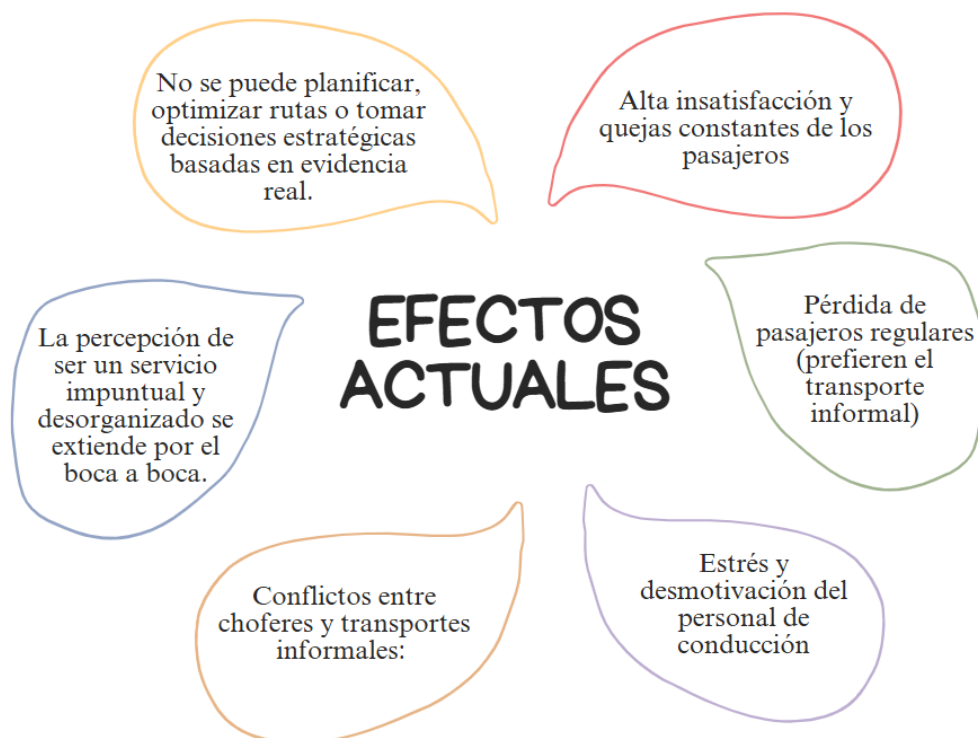


Figura 3.8 Efectos actuales del problema encontrado en la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”

Las manifestaciones visibles del problema, obtenidas de los mapas de empatía, sirvieron como base para identificar los efectos directos. Por ejemplo, la incertidumbre en los

tiempos de viaje (efecto directo) era evidente por las quejas constantes de los pasajeros y las justificaciones de los choferes. Este efecto, a su vez, desencadenaba una cadena de impactos negativos: la insatisfacción de los usuarios llevaba a la pérdida de pasajeros regulares, lo que se cuantificaba mediante una disminución en el número de pasajeros y un aumento en el uso de transporte informal en la ruta.

Además de los efectos ya presentes, se identificaron amenazas futuras críticas. Por ejemplo, la pérdida de competitividad frente a otras cooperativas o servicios informales se percibía como un riesgo inminente, ya que los usuarios comenzaban a optar por alternativas más confiables. Otro efecto futuro era el aumento del riesgo de accidentes, derivado de las prácticas operativas riesgosas que adoptaban los choferes para compensar el tiempo perdido en las paradas prolongadas. Este riesgo no solo amenazaba la seguridad de los pasajeros y otros actores viales, sino que también exponía a la cooperativa a posibles demandas y sanciones legales.

Para visualizar la relación entre estos efectos, se construyó un árbol de efectos, mostrado en la Figura 3.10, que partía del problema central y se ramificaba en efectos directos, intermedios y críticos. Este árbol permitió identificar interdependencias clave, como la falta de datos confiables (efecto directo) impedía optimizar las rutas (efecto intermedio), lo que a su vez aumentaba los costos operativos y reducía aún más la competitividad (efecto crítico).

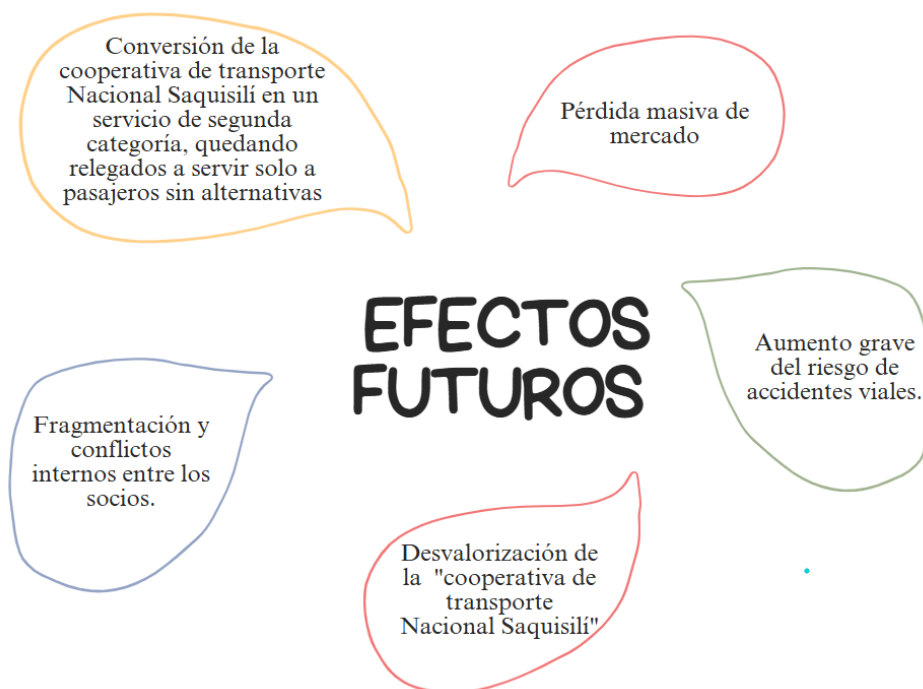


Figura 3.9 Efectos que pueden surgir al no resolver el problema presente

Así, se demostró que el problema central no solo generaba molestias inmediatas, sino que alimentaba un ciclo vicioso que podía llevar a la desaparición de la cooperativa si no se actuaba de manera oportuna.

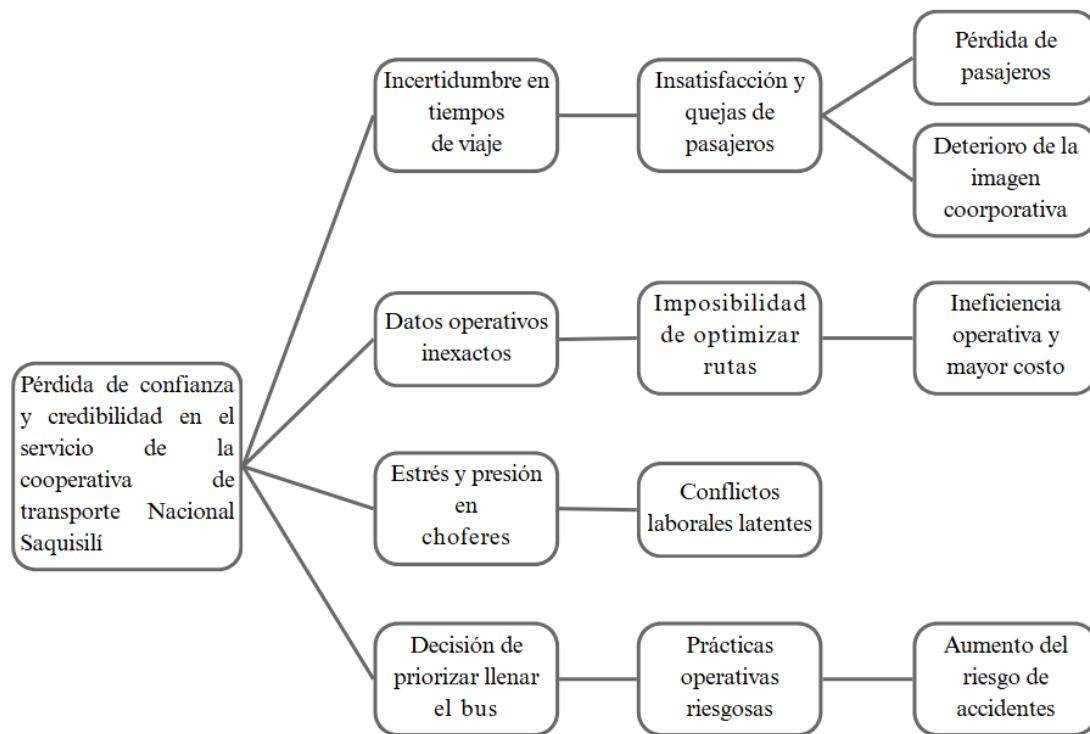


Figura 3.10 Árbol de efectos

- **Árbol de problemas**

Esta herramienta se utilizó para sintetizar la información obtenida de los directivos, los choferes y los pasajeros. El objetivo era ir más allá de los síntomas evidentes (quejas de usuarios, estrés laboral) y trazar una línea clara de causa-efecto hasta los orígenes del problema.

El proceso fue recursivo: partiendo de un efecto visible (ej. "pasajeros insatisfechos"), se preguntó "¿por qué?" sucesivamente hasta desenterrar los factores culturales, operativos y económicos que lo sustentan.

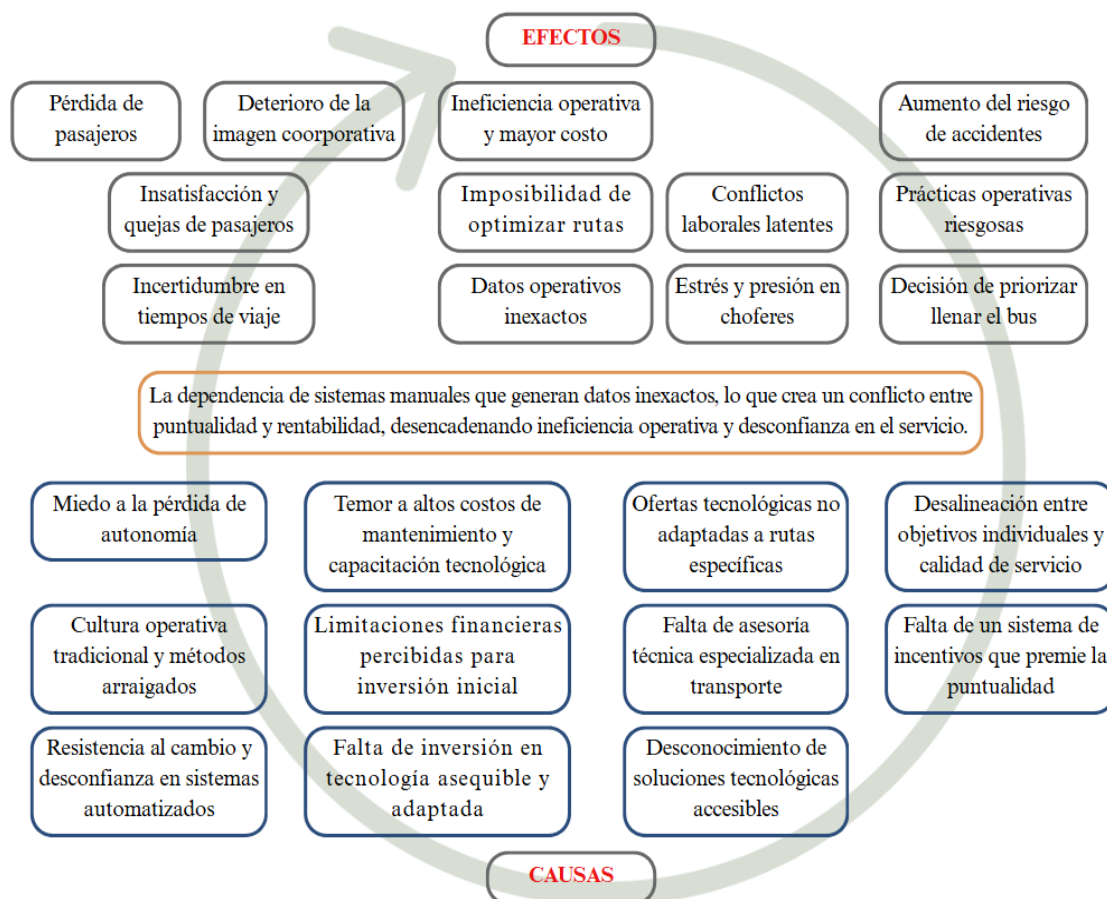


Figura 3.11. Diagrama del árbol de problemas de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”.

La estructura del árbol de la Figura 3.11 es clara: en la base están las causas raíz. Estas incluyen la desalineación de incentivos (el chofer busca maximizar ingresos por viaje, no la calidad del servicio), el miedo a la pérdida de autonomía, la percepción de que la tecnología es costosa y la falta de soluciones adaptadas a sus rutas específicas.

El árbol deja claro que una solución puramente tecnológica no funcionará. No basta con instalar un dispositivo; es necesario rediseñar el modelo de incentivos, trabajar en la capacitación para superar la resistencia cultural y encontrar herramientas que sean realmente asequibles. El árbol no solo diagnostica la crisis, sino que guía el diseño de una solución integral.

3.8.3 Idear soluciones para la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”

Habiendo completado las fases de empatía y definición, el problema central quedó formulado con precisión. Este proceso aseguró que el desafío a resolver estuviera anclado en las necesidades reales de la cooperativa, no en suposiciones.

Con el problema ya definido: "La dependencia de sistemas manuales que generan datos inexactos, creando un conflicto entre puntualidad y rentabilidad, desencadenando

desconfianza en el servicio", el siguiente paso fue la fase de Ideación. El objetivo aquí era generar un volumen amplio de ideas que abordaran este complejo problema desde múltiples ángulos.

3.8.3.1 Herramienta: ¿Cómo podríamos?

Se optó por la metodología "¿Cómo podríamos?" (HMW, por sus siglas en inglés) debido a su eficacia para reencuadrar los desafíos. Esta herramienta permite que los problemas no sean vistos como obstáculos, sino como puntos de partida concretos para el diseño.

El lenguaje que emplea esta técnica fomenta intrínsecamente la colaboración. De esta manera, se involucra a todas las partes interesadas en un proceso de co-creación, buscando desarrollar soluciones que logren una integración equilibrada de los componentes tecnológicos, operativos y culturales.

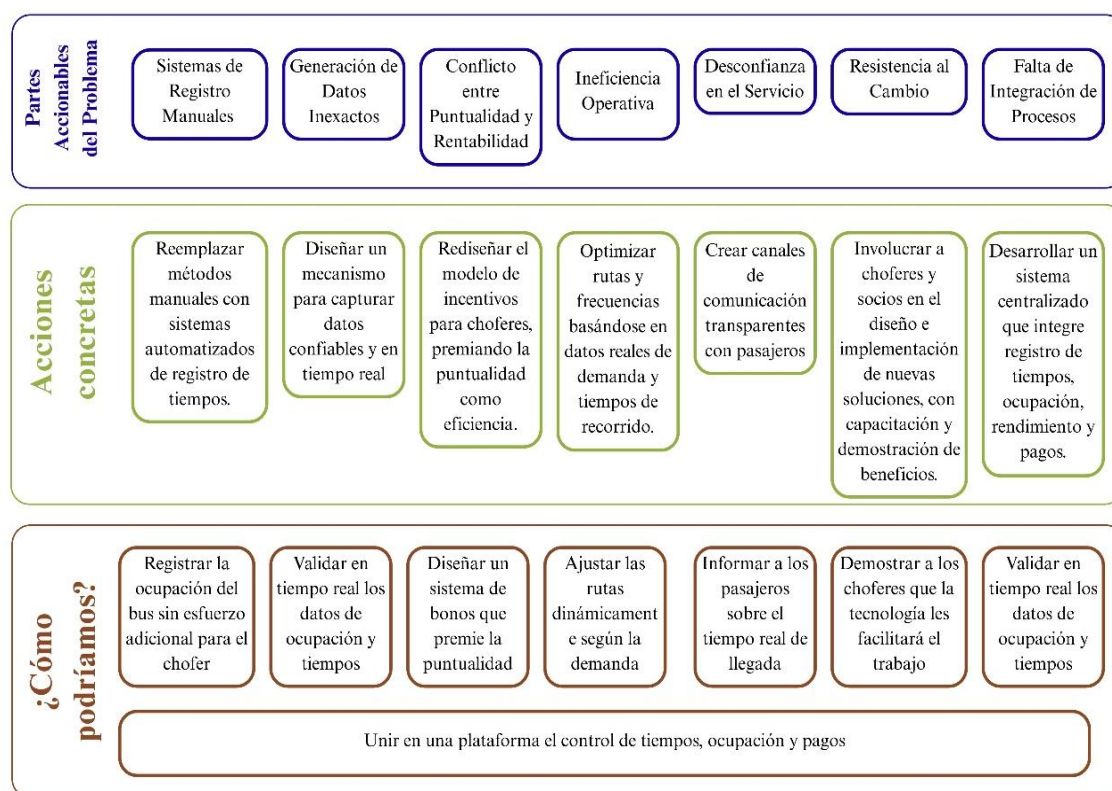


Figura 3.12. Mapa de oportunidades: de la identificación del problema a las preguntas de diseño

La Figura 3.12 desglosa este marco de trabajo, organizando el desafío en siete dimensiones críticas. Se procedió a formular una pregunta bajo la metodología HMW para cada dimensión identificada, logrando así reencuadrar cada desafío como una oportunidad de diseño. Simultáneamente, se propusieron líneas de acción específicas que vinculan la problemática detectada con una solución potencial.

El esquema resultante de este proceso ilustra cómo un problema de gran complejidad puede descomponerse en componentes más manejables. Un aspecto notable que emergió del análisis es la recurrencia del concepto "validación de datos en tiempo real".

3.8.3.2 Nube de ideas

La lluvia de ideas presentada en la Tabla 3.1 fue la respuesta directa a la necesidad de modernizar la operación. Las propuestas buscaron reemplazar los sistemas obsoletos y resolver el conflicto central entre puntualidad y rentabilidad.

Las ideas combinaron tecnología accesible (RFID, GPS, apps) con estrategias humanas (nuevos incentivos, participación de los socios). El objetivo nunca fue solo automatizar registros, sino crear un ecosistema donde la tecnología y las personas colaboren para un servicio confiable.

Tabla 3.1 Lluvia de ideas

N°	IDEA
Idea 1	Usar tecnología LPWAN para recolectar y transmitir datos desde las paradas.
Idea 2	Algoritmos de machine learning que analicen datos históricos y en tiempo real.
Idea 3	Lectores RFID en paradas que registren el ID del bus y su hora de paso, validando tiempos.
Idea 4	Usar tecnología NFC para registrar el tiempo de paso.
Idea 5	Implementar un ranking público de choferes con premios mensuales al mejor desempeño.
Idea 6	Integrar tecnología GPS para registrar ubicaciones y tiempos automáticamente.
Idea 7	Usar los lectores RFID para medir el tiempo entre la llegada y salida de una parada.
Idea 8	Una app para el chofer que notifique si excede el tiempo permitido de detención.
Idea 9	Invitar a los choferes que prueben el prototipo y compartan experiencias.

Evidentemente, aunque se generaron muchas propuestas valiosas, no todas eran viables para una etapa inicial. La diversidad sirvió para explorar el panorama, pero la ejecución debía priorizar la solución más efectiva y factible.

Tabla 3.2 Elección de la mejor idea.

#	Innovadora (1 punto)	Posible (3 puntos)	Financiera (1 punto)	Adecuada al grupo (5 puntos)	Realista (10 puntos)	Total
Idea 1	1	3	0	2	5	11
Idea 2	1	3	0	0	4	8
Idea 3	1	3	1	5	10	20
Idea 4	1	3	1	1	5	11
Idea 5	1	3	1	4	8	17
Idea 6	1	3	0	2	4	10
Idea 7	1	3	1	5	10	20
Idea 8	1	3	1	5	7	17
Idea 9	0	3	1	5	10	19

La Tabla 3.2 permite priorizar las ideas generadas en la lluvia de ideas con base en criterios clave: innovación, posibilidad, viabilidad financiera, adecuación al grupo objetivo y realismo, dónde realista mide cuán viable en la realidad es una idea,

considerando tiempo, recursos, contexto. Las ideas con mayor puntuación (Idea 3 e Idea 7) se destacan como las más prometedoras para implementar en una primera etapa, ya que combinan factibilidad técnica, impacto inmediato y alineación con las necesidades de la cooperativa.

Tras una evaluación comparativa de las alternativas, se determinó que la implementación de lectores RFID en paradas estratégicas representaba la solución más idónea. El mecanismo de estos dispositivos, que registra el identificador único del vehículo junto a la marca temporal de su paso, permite abordar de raíz la problemática central: la ausencia de precisión y fiabilidad en los tiempos de operación.

Este hito marcó una transición metodológica en el proyecto. Se abandonó el enfoque exploratorio propio del Design Thinking para adoptar el modelo secuencial estructurado de Cascada (Waterfall).

Con ello, se dio inicio formal a la etapa de especificación de requisitos, durante la cual se consolidó y validó la solución tecnológica propuesta. Este paso fue determinante para documentar con rigor cada aspecto funcional y técnico, establecer una priorización basada en el impacto de cada componente y asegurar que la solución, si bien se desarrollaría bajo un modelo de gestión predecible, mantuviera su enfoque centrado en el usuario.

3.9 Metodología waterfall

3.9.1 Requerimientos de la propuesta

Se establece como requisito la migración completa del registro de tiempos a un formato digital, sustituyendo el obsoleto proceso manual basado en tarjetas y relojes mecánicos por una solución automatizada. La plataforma debe poseer la capacidad de validar la duración de los recorridos, verificando que cada unidad respete el intervalo mínimo estipulado entre los puntos de control clave.

Un desafío del diseño es la capacidad de operar en modo desconectado (offline). Las estaciones de control carecen de conectividad a internet, por lo que el sistema debe garantizar una recopilación de datos local y autónoma. La sincronización de esta información con la base de datos central (nube) se proyecta como un proceso diferido, que se ejecutará aprovechando la conectividad disponible en la oficina central.

La usabilidad emerge como un factor de éxito. La experiencia negativa previa con sistemas GPS, que generó un alto nivel de rechazo, exige que la nueva plataforma sea intuitiva y posea una baja curva de aprendizaje. Es imperativo que tanto conductores

como personal administrativo, usuarios con una competencia tecnológica limitada, puedan operar el sistema.

Para ello, se define el desarrollo de una interfaz móvil que permita a cada conductor consultar el equivalente a su "tarjeta de tiempo" en formato digital, así como sus registros históricos. El sistema también debe integrar un módulo de gestión de penalizaciones, facilitando la visualización de multas pendientes y la notificación al conductor, optimizando así los procesos de recaudación.

A nivel de la arquitectura del backend, la solución debe administrar un catálogo digital de las unidades de transporte y garantizar un almacenamiento de datos persistente y seguro. Esto habilitará la futura explotación de la información para análisis y la generación de informes gerenciales que apoyen la toma de decisiones.

Finalmente, la precisión y la fiabilidad son atributos no negociables. Al erradicar la intervención manual y la dependencia de componentes mecánicos susceptibles a fallos, se asegura la integridad de los datos. Como beneficio derivado, esta automatización reducirá costos operativos asociados al mantenimiento de equipos y la compra de insumos físicos.

En suma, la implementación de un sistema automatizado para la gestión de tiempos no solo subsana las deficiencias operativas actuales, sino que también optimiza la estructura de costos y establece una base de datos fiable para fundamentar decisiones estratégicas futuras en la cooperativa.

Este estudio se centra en la ruta Latacunga-Saquisilí, ya que es una de las rutas más importantes y con procesos definidos, lo que permite un análisis detallado y una propuesta de solución adaptada a sus necesidades específicas.

3.9.2 Diseño del sistema de medición automática

En base a la problemática que se presenta en el proceso actual de la cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí” se presenta una solución IoT, la cual permite automatizar el proceso y también le da más confiabilidad, además que dicha solución puede ser escalable.

Para esta solución se propone una arquitectura inicial de IoT, en la que se evidencian los dispositivos a utilizar en el sistema automático, para llevar a cabo esta solución se utiliza la arquitectura IoT propuesta por Cisco, la cual lleva a cabo 7 niveles

3.9.2.1 Capa 1: Capa de dispositivos físicos y controladores

a) Elección del Sensor – Recopilación de datos

Esta primera capa define cómo el sistema interactúa con el mundo real. La elección del sensor es estratégica, ya que debe registrar el paso de un vehículo por una estación sin que este se detenga, asegurando fiabilidad.

Se evaluaron tres alternativas principales:

1. Tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia): Implica instalar una etiqueta (tag) en el vehículo y un lector con antena en la estación. La lectura es automática, sin necesidad de contacto físico ni línea de vista directa, lo que la hace muy robusta.
2. Módulos GPS: Permiten el rastreo geográfico y el cálculo de tiempos entre puntos. Sin embargo, dependen de una señal satelital clara y, como se documentó en la etapa de empatía, la implementación previa de GPS en la cooperativa fracasó debido a su falta de precisión en la geolocalización.
3. Cámaras con Visión Artificial: Es la opción más avanzada, permitiendo el reconocimiento de matrículas (ANPR). No obstante, su complejidad es alta: exige buena iluminación, alta capacidad de procesamiento y conectividad estable, aumentando los costos.

Analizando los requisitos iniciales y la comparativa (Tabla 3.3), el sistema RFID se impone como la solución óptima, con una ponderación del 95 %.

Su principal ventaja es la capacidad de realizar lecturas rápidas y precisas sin depender de la visibilidad directa, lo que lo hace inmune a variaciones climáticas o suciedad. A diferencia del GPS o las cámaras, su infraestructura es mínima, su consumo energético es bajo y su instalación es más simple. El RFID ofrece el mejor equilibrio entre costo, eficiencia y fiabilidad para la identificación única de vehículos en movimiento.

Tabla 3.3 Características técnicas de los sensores con ponderaciones

Sensor	Ponderación	RFID	Pj	Módulos GPS	Pj	Cámara + Visión AI	Pj
Identificación del vehículo	10 %	Sí, mediante etiqueta única asociada al vehículo	10	Sí, por geolocalización vinculada al ID del vehículo	10	Sí, por reconocimiento de matrícula, forma o color	10
Señal a larga distancia	10 %	Moderada (hasta 10-15 m con RFID activo; < 1 m con RFID pasivo)	8	Alta (cobertura global vía satélites)	10	Limitada (depende del ángulo de visión y resolución de la cámara)	5
Instalación	20 %	Fácil (antenas en puntos fijos, etiquetas en vehículos)	20	Moderada (requiere instalación interna y conexión a red)	18	Compleja (requiere infraestructura, calibración, energía constante)	10
Apto para alta velocidad	15 %	Sí, especialmente con etiquetas activas y lectores adecuados	15	Sí, sin pérdida de precisión en movimiento	15	Limitado (requiere cámaras de alta velocidad para capturar con claridad)	10
Condiciones climáticas	10 %	Alta resistencia (no depende de visibilidad)	10	Afectado por obstáculos físicos (túneles, zonas con mala señal)	8	Sensible a condiciones adversas (lluvia, niebla, poca luz)	7
Mantenimiento	15 %	Bajo (revisión de lectores, reemplazo de etiquetas ocasional)	12	Bajo (revisión periódica del dispositivo GPS)	12	Alto (limpieza óptica, ajustes, actualizaciones de software)	10
Consumo energético	20 %	Bajo (etiquetas pasivas casi sin consumo; lector moderado)	20	Medio (requiere energía continua para rastreo y transmisión)	15	Alto (procesamiento constante de video e iluminación adicional)	10
Resultado	100 %		95 %		88 %		62 %

- Lector integrado BRD-01LI

El escenario de operación es desafiante: una autopista de cuatro carriles con flujo vehicular intenso. Para este contexto, se seleccionó el lector RFID BRD-01LI con antena integrada de 9 dBic.

Este modelo es ideal porque su potencia de salida es flexible (configurable de 0 a 33 dBm), lo que permite ajustar la señal para lograr un alcance de lectura de hasta 20 metros. Esto asegura que las etiquetas UHF sean capturadas incluso cuando los buses transitan a velocidades considerables.

Un factor decisivo fue su robustez para operar en exteriores. La instalación requiere resistencia a la lluvia, polvo y vibraciones. El BRD-01LI cuenta con certificación IP65 y una estructura industrial que opera fiablemente en un amplio rango de temperaturas (-20°C a 70°C).

Además, a diferencia de sistemas tradicionales, integra el lector y la antena en una sola unidad, simplificando la instalación. La conectividad con el microcontrolador se gestiona a través del puerto RS-232, un estándar consolidado para la comunicación de datos en serie.

b) Procesamiento de los datos

La información que entrega el lector BRD-01LI es solo el tag RFID: un código hexadecimal de 12 bits (convertido a String) que identifica al bus. Este dato, por sí solo, es insuficiente para el sistema.

Para darle contexto, se incorpora un dispositivo emisor (microcontrolador). Este dispositivo recibe el tag desde el lector y estructura un paquete de información completo, que incluye:

- Identificador de la estación: Corresponde al nombre único asignado a cada punto de registro (ej: Estacion01).
- Identificador de la antena: Especifica la antena de la estación que realizó la lectura (ej: 1).
- Tag RFID del bus: Código único asociado al bus detectado (ej: e3 90 68 94 0 0 80 1a 4a 48 58 21).

Dado que las estaciones operan offline, la transmisión de este paquete de datos depende de tecnologías de largo alcance (LPWAN). En consecuencia, el dispositivo emisor seleccionado debía satisfacer dos requisitos técnicos. El primero su capacidad para interoperar con el lector RFID, asegurando la correcta recepción de los datos del tag. El segundo requisito, la compatibilidad nativa con un protocolo LPWAN, permitiendo la transmisión de dicha información.

Una vez que se optó por la tecnología LPWAN como estándar para el proyecto, se procedió a un análisis comparativo de varias placas comerciales que integraban la capacidad de comunicación LoRa. La evaluación para esta selección ponderó factores como la eficiencia energética, el costo de adquisición y la compatibilidad técnica con el resto de los componentes. En la Tabla 3.4 se presenta un análisis comparativo de cuatro

modelos destacados: WiF0i LoRa 32 V2.1, WiFi LoRa 32 V3, LoRa32 V1.0 y LoRa 32 V2.1_1.6.

Entre estos, los modelos WiFi LoRa 32 V3 (Heltec) y LoRa 32 V2.1_1.6 (LILVGORTTGO) destacan por su bajo consumo en modo sleep, con valores de $<10 \mu\text{A}$ y $1.5 \mu\text{A}$ respectivamente, lo que los posiciona como alternativas ideales para operaciones prolongadas en entornos sin acceso a fuentes de energía estables. Aunque las cuatro placas presentan características similares en términos de conectividad integrada (wifi, Bluetooth, LoRa) y soporte para el protocolo MQTT, el costo emerge como un factor diferenciador: el modelo WiFi LoRa 32 V3 tiene un precio de USD 38,00, mientras que el LoRa 32 V2.1_1.6 alcanza USD 45,00, lo que representa una diferencia de USD 7,00.

En [48] se realizó las ponderaciones correspondientes a la elección de la placa de desarrollo, donde los resultados fueron a favor de la placa de desarrollo modelo WiFi LoRa 32 V3 con un 92%, superando a las otras placas.

Tabla 3.4 Características técnicas de placas comerciales [48]

Parámetros	WiFi LoRa 32 V2.1	WiFi LoRa 32 V3	LoRa32 V1.0	LoRa 32 V2.1_1.6
Marca	Heltec	Heltec	LILYGO®TT GO	LILYGO®TT GO
Microcontrolador	ESP32-DO	ESP32-S3FN8	ESP32	ESP32 PICO-D4
Voltaje de funcionamiento	5 V	5 V	3,5 V a 7 V	5 V
Voltaje de batería	3,7 V a 4,2 V	3,7 V a 4,2 V	3,7 V a 4,2 V	3,7 V a 4,2 V
Sleep (corriente)	800 μA	$<10 \mu\text{A}$	20 mA	1,5 μA
Rango de temperatura	-20 °C a 70 °C	-20 °C a 70 °C	-40 °C a 90 °C	-40 °C a 85 °C
Potencia de transmisión	20 dBm	22 dBm	20 dBm	20 dBm
GPIOs	27	28	36	18
Puerto DC	SI	SI	SI	SI
Wifi integrado	SI	SI	SI	SI
Bluetooth integrado	SI	SI	SI	SI
LoRa integrado	SX1276/SX1278	SX1262	SX1276/SX1278	SX-1276
Protocolo MQTT	SI	SI	SI	SI
Costo	USD 35,00	USD 38,00	USD 39,00	USD 45,00

Esta comparativa evidencia que, pese a la ventaja en eficiencia energética del LoRa 32 V2.1_1.6, el modelo WiFi LoRa 32 V3 ofrece un equilibrio superior entre rentabilidad y rendimiento, especialmente relevante para despliegues a gran escala. Adicionalmente, su rango de temperatura de funcionamiento (-20 °C a 70 °C) y potencia de transmisión de 22 dBm lo hacen adecuado para condiciones ambientales variables.

3.9.2.2 Capa 2: Capa de conectividad

a) Selección de la Red de Área Amplia de Baja Potencia (LPWAN).

En la segunda capa de la arquitectura IoT se define la estrategia de comunicación. Retomando lo establecido en la capa inicial, la conexión directa a internet de las estaciones RFID se descarta. La solución es implementar una red LPWAN para transmitir los datos desde las estaciones remotas hasta la oficina central, la cual sí dispone de acceso a internet.

Conforme se detalla en el análisis comparativo de la Tabla 3.5, se evaluaron las dos tecnologías LPWAN predominantes: SigFox y LoRa.

La selección de LoRa como estándar para el proyecto se fundamentó en múltiples ventajas. El beneficio principal radica en el menor uso de infraestructuras complejas o propietarias de terceros. Adicionalmente, su rango de operación demostrado, capaz de alcanzar distancias de hasta 10 km cubre los requerimientos del escenario de aplicación [48].

No obstante, la flexibilidad de LoRa fue el factor decisivo para su adopción. Mientras que la arquitectura de SigFox impone limitaciones, tanto en la cuota de mensajes diarios como en el tamaño del paquete de datos (restringido a solo 12 bytes), LoRa confiere al implementador la potestad de definir y ajustar estos parámetros.

Tabla 3.5 Comparativa entre comunicaciones LPWAN [48]

Parámetros	SigFox	LoRa
Banda de frecuencia	868/902 MHz (ISM)	433/868/780/915 MHz (ISM)
Rango urbano	3 km a 10 km	2 km a 5 km
Número de mensajes de envío	7 mensajes/h	Definido por el usuario
Número de mensajes de recepción	4 mensajes/día	Definido por el usuario
Tamaño del paquete	12 bytes	Definido por el usuario
Dispositivos por punto de acceso	1 millón	100 mil
Estado	En desarrollo	Especificaciones publicadas en junio de 2015
Topología	Estrella	Estrella
Organización o empresa	SigFox	Alianza LoRa
Cobertura	50 países	Se crea cobertura en cualquier lugar
Accesibilidad	Suscripción	Compra de módulos
Costo	Medio-alto	Bajo

b) Selección del dispositivo receptor

El receptor, o gateway, es el dispositivo puente entre la red de campo y la nube. Se ubica en la oficina central. Su función es integrar comunicación LoRa, para recibir los datos de las estaciones, e internet, para enviar esa información a la base de datos.

En este sistema, el mismo dispositivo puede emplearse tanto en el rol de emisor, capa física, como de receptor, capa de red. Esto significa que, aunque los dispositivos cumplen funciones distintas dependiendo de su ubicación en la arquitectura, comparten el mismo diseño hardware y firmware. Por ejemplo, el modelo WiFi LoRa 32 V3 seleccionado, actúa como emisor en las estaciones remotas, capturando datos mediante RFID y transmitiéndolos vía LoRa, y como receptor en la oficina, recibiendo paquetes LoRa y reenviándolos a internet. Lo que define la flexibilidad de este dispositivo es que puede cambiar entre distintos modos de operación utilizando únicamente configuraciones de software.

3.9.2.3 Capa 3: Capa de Edge Computing

a) Protocolo de comunicación

Para transmitir los datos desde el gateway, que se encuentra en la oficina, hasta la base de datos en la nube, se requiere un protocolo eficiente. Se evaluaron MQTT y HTTP.

Aunque MQTT es un estándar de alta eficiencia y bajo consumo en el ámbito de IoT, su arquitectura requiere la implementación y el mantenimiento de una infraestructura intermedia (un broker) para gestionar la mensajería.

El ESP32 puede enviar los datos mediante una solicitud HTTP POST, usando librerías estándar como HTTPClient. Esto elimina la necesidad de componentes adicionales.

HTTP se integra fácilmente con estándares de seguridad (HTTPS/TLS) y ofrece respuestas inmediatas del servidor (códigos de estado), lo que facilita la implementación de reintentos o notificaciones de fallo directamente en el firmware. Además, dado que los datos se envían solo cuando pasa un bus, HTTP es eficiente, ya que evita el gasto energético de mantener una conexión constante, como sí lo requiere MQTT.

Esto es relevante en dispositivos alimentados por batería o energía solar, donde la eficiencia energética determina la autonomía del sistema. Aunque HTTP tiene un mayor overhead de protocolo comparado con MQTT, este impacto se mitiga cuando las transmisiones son infrecuentes y los paquetes de datos son pequeños, como en el envío de identificadores de 12 bits.

3.9.2.4 Capa 4: Capa de acumulación de datos

a) Firebase

En esta capa, todos los datos procesados por Node-RED, incluyendo registros de llegada de buses, multas generadas y actualizaciones de estado, se almacenan en Firestore, una base de datos NoSQL de Firebase.

Los datos que llegan a la placa de desarrollo ubicado en la oficina pasan a internet mediante el protocolo https y son guardados en la base de datos de Firebase Realtime Database. Esta elección se fundamenta en su capacidad para manejar grandes volúmenes de información con baja latencia, escalabilidad automática y soporte para consultas complejas, características esenciales en un sistema de transporte público con requerimientos críticos de rendimiento.

3.9.2.5 Capa 5: Capa de abstracción de datos

a) Node-RED

En esta capa, los datos crudos recolectados (que ya están en la nube) se transforman en información de negocio.

Los datos enviados por el gateway llegan a una Realtime Database de Firebase. Inmediatamente, se activa un flujo de procesamiento automatizado en Node-RED, que se ejecuta en un servidor privado virtual (VPS).

Node-RED actúa como un listener que monitorea la base de datos en tiempo real. Cuando identifica un nuevo registro, ejecuta una lógica condicional:

- **Identificación del Bus:** Toma el tag RFID recibido y consulta la colección "buses" en Firestore para vincular ese tag con el vehículo correspondiente.
- **Verificación de Salida Diaria:** Una vez identificado el bus, el sistema busca en la colección "salidas_diarias" si ya existe un registro previo para ese mismo vehículo en esa fecha, validando la secuencia y la coherencia del viaje. Este paso determina si el bus cumplió con su horario de salida programado.
- **Generación Condicional de Multas:** Si no existe una salida registrada previa a la llegada, Node-RED prepara un mensaje para la colección "multas". Antes de insertar el registro, verifica si ya existe una multa asociada al mismo bus y fecha, evitando duplicaciones. En caso de no existir, crea un nuevo documento con campos como bus_id, monto, fecha y estado (por defecto "pendiente").

- Actualización de Estado: Finalmente, el sistema actualiza el campo estado de la salida diaria correspondiente a true, marcando así que el bus completó su ruta y fue procesado por el sistema de multas.

b) Firestore

Esta capa actúa como un intermediario crítico entre el almacenamiento de datos (Firestore) y las aplicaciones cliente, simplificando el acceso a la información y ocultando la complejidad del backend. Su objetivo es garantizar que el frontend interactúe con los datos de manera uniforme, segura y eficiente, independientemente de cambios en la estructura de la base de datos o en las tecnologías subyacentes.

3.9.2.6 Capa 6: Capa de aplicaciones

a) FlutterFlow

Se utilizó la plataforma FlutterFlow ya que ofrece un entorno de desarrollo visual, para elaboración de aplicaciones móviles y web, con la herramienta Flutter y el lenguaje Dart permite la creación de aplicaciones en Android, iOS y web, entre otros.

FlutterFlow ofrece el uso de plantillas, en su mayoría de uso gratuito, además su versión de pago permite descargar el código completo o construir el apk de la aplicación, además de poder probar la aplicación en modo prueba antes de construir.

Tabla 3.6.Requerimientos iniciales

Requerimientos Iniciales
Digitalización del registro de tiempos
Verificar si la unidad respetó el tiempo mínimo de llegada al punto de control
Facilidad de uso
Poder visualizar la tarjeta en tiempo real
Poder visualizar multas
Gestión de unidades
Almacenamiento y análisis de datos
Reducción de costos operativos
Precisión y confiabilidad
Interfaz simple, intuitiva y adecuada

Para la realización de la aplicación se tomó en cuenta requerimiento iniciales, a partir de entrevistas y comentarios del presidente de la cooperativa y demás socios y choferes. Estos requerimientos se encuentran en la Tabla 3.6.

3.9.2.7 Capa 7: Capa de colaboración y procesos

En esta capa se destaca el papel fundamental de la colaboración entre el sistema tecnológico y la gestión administrativa, en particular con la labor que desempeña la secretaria encargada del manejo de las unidades de transporte.

La secretaria constituye un eje clave en la coordinación y control de los buses, ya que recibe en tiempo real la información generada por el sistema, lo que le permite:

- Verificar las salidas y llegadas de las unidades.
- Controlar el cumplimiento de horarios establecidos.
- Identificar posibles retrasos o incidencias operativas.
- Coordinar acciones correctivas inmediatas con los conductores.

Asimismo, el sistema facilita la gestión documental y administrativa, al centralizar en una sola plataforma los registros históricos de operación, lo que contribuye a una mayor transparencia en la toma de decisiones.

Por otro lado, el análisis de datos que se obtiene a partir del sistema permite extraer información de gran valor estratégico, tales como:

- Patrones de puntualidad de las unidades y conductores.
- Tendencias de uso de los buses en distintos horarios o rutas.
- Estadísticas de incidencias que pueden servir para diseñar planes de mejora.
- Optimización de recursos, identificando posibles redundancias o áreas que requieran refuerzo.

CAPITULO IV

4. Resultados y discusión

4.1 Implementación en base a la arquitectura IoT

4.1.1 Capa 1: Capa de dispositivos físicos y controladores

4.1.1.1 Programación del RFID

El sistema de comunicación con el lector RFID se implementó mediante un enfoque de ingeniería inversa, al no existir una librería nativa compatible con Arduino IDE. El dispositivo, originalmente diseñado para interactuar con una aplicación de escritorio propia, permitía operaciones como configuración, conexión, lectura de tags y control de para pausar y desconectar, a través de comandos hexadecimales estructurados. Estos códigos, identificados mediante el monitoreo del puerto serie (COM Port Monitoring), corresponden a funciones específicas: inicialización, autenticación, activación de lectura y pausa, entre otros.

Para integrar el lector al sistema IoT basado en el módulo Heltec WiFi LoRa 32 V3, se capturaron y analizaron los mensajes seriales bidireccionales entre la aplicación del proveedor y el hardware. Esta metodología permitió emular la comunicación sin dependencia de la computadora, reprogramando el Heltec para enviar los comandos hexadecimales directamente al lector mediante su puerto serie integrado. Así, el módulo actuaba como intermediario autónomo, replicando la lógica de la aplicación de escritorio para gestionar lecturas, configurar parámetros y sincronizar datos con la plataforma en la nube. Para más información sobre las especificaciones técnicas del dispositivo, se puede consultar el datasheet del Heltec WiFi LoRa 32 V3, disponible en el Anexo V.

Cabe destacar que, aunque el lector no está diseñado para entornos Arduino, su compatibilidad con protocolos seriales estándar facilitó esta adaptación.

El RFID tiene una aplicación de escritorio desarrollada por el mismo proveedor, desde esa aplicación se puede configurar, conectarse al lector, leer tags, pausar y desconectarse de la computadora. Con la aplicación COM Port Monitoring se pueden ver los mensajes que se envían en números hexadecimales del lector a la computadora y de la computadora al lector. Estos códigos hexadecimales tuvieron una estructura específica y tienen diferentes funcionalidades, un código puede conectarse, otro configurarlo, otro permite que el lector empiece a leer tags y otro pausar las lecturas.



Serial Port Monitor

Rastree y analice la actividad de sus puertos COM

Serial Port Monitor es una utilidad rica en funciones que le permite monitorear y registrar cualquier información que pase por los puertos serie de su ordenador. Esta solución especializada será útil para el desarrollo, prueba y depuración de sus programas y dispositivos basados en COM. Serial Protocol Analyzer simplifica la lectura, filtrado y almacenamiento de los datos generados por aplicaciones y hardware conectados a las interfaces COM de su sistema.

Figura 4.1. Lector de puerto serial utilizado Serial Port Monitor

La placa de desarrollo con todos los datos que se obtuvo del COM Port Monitoring de la Figura 4.1, los cuales tienen la estructura de la Tabla 4.1 para comunicarse con el lector sin necesidad de la computadora o alguna aplicación. Se puede consultar el datasheet del lector, disponible en el Anexo VII.

Tabla 4.1. Estructura de la comunicación del Lector RFID

Head	Len	Address	Cmd	Data	Check
0xEA	2Byte	1Byte	1Byte	NByte	1Byte
Parameter Description	Head	Packet header, cada paquete comienza con 0xEA.			
	Len	Número de bytes en el paquete comenzando después de Len, sin incluir Len en sí.			
	Address	Dirección del lector. Se usa cuando la interfaz RS-485 está conectada en serie. Dirección general de 0 a 254 (0xFE). 255 (0xFF) es la dirección común. El lector recibe comandos para su dirección o la común.			
	Cmd	Código de comando.			
	Data	Parámetros del comando.			
	Check	Checksum, la suma de verificación de todos los bytes excepto el propio checksum.			

a) Programación de la placa de desarrollo Heltec WiFi LoRa32 de la estación RFID

Se programó la placa de desarrollo con un web server asíncrono que permite cambiar configuraciones importantes como, potencia de lectura del lector, potencia de

transmisión LoRa, contraseña de administrador, nombre de la estación RFID y código del cifrado de la red LoRa. Además, en este punto se hizo la comunicación física con el lector por medio del protocolo RS-232 y TTL como se muestra en Figura 4.2.

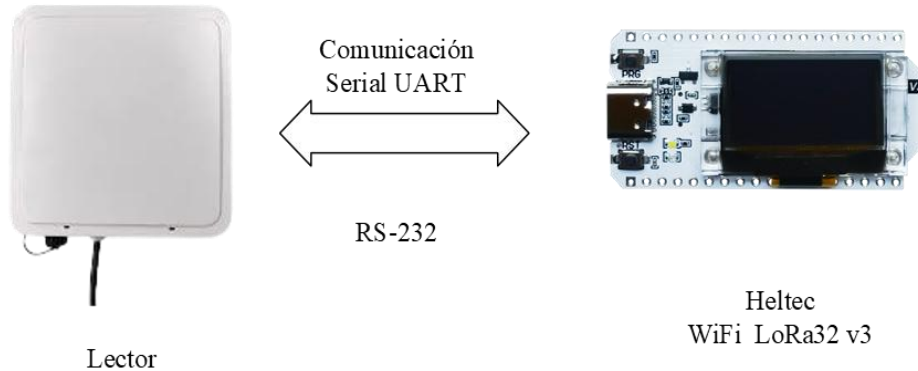


Figura 4.2. Comunicación en Lector RFID y el microcontrolador

b) Colocación de tarjetas RFID

Se colocaron los tags, en todos los buses de la cooperativa de transporte, excepto en 1 que no está en funcionamiento, como se muestra en la Figura 4.3. Este tag fue colocada a 3 metros de altura en el interior del bus en la parte lateral izquierda.



Figura 4.3. Colocación de la etiqueta RFID

c) Fuente de Energía

Para garantizar la operatividad continua del sistema IoT en estaciones RFID remotas, donde el acceso a la red eléctrica es inviable, se implementó un sistema de energía renovable basado en panel solar de 120 W (Para más especificaciones técnicas ir al Anexo VIII). Este diseño responde a la necesidad de autonomía energética, considerando las demandas de los componentes del sistema: el lector RFID y el módulo de comunicación, Heltec WiFi LoRa32.

Con el objetivo de asegurar la operatividad ininterrumpida del sistema IoT de gestión de tiempos de rutas, que requiere funcionamiento las 24 horas, incluso en ausencia de luz solar debido a factores climáticos adversos, se implementó un sistema de

almacenamiento energético basado en batería sellada de 35Ah (ver Anexo IX para más especificaciones). Estas baterías se seleccionaron como solución óptima para sistemas fotovoltaicos de baja potencia, menos de 200 W, priorizando su costo accesible y disponibilidad en mercados locales.

Teniendo en cuenta que el sistema IoT de gestión de tiempos de rutas necesita estar operativo todas las horas, tanto en el día como en la noche se ha determinado almacenar la energía solar recolectada por el panel solar en una batería. Esta batería tenía que ser suficiente para mantener el sistema IoT operativo por varios días en caso de que carezca del sol u otro factor climático.

d) Construcción de la estructura

La estructura del sistema IoT de gestión de tiempos se compone de un armazón modular fabricado con tubo galvanizado de alta resistencia, diseñado para garantizar durabilidad ante condiciones ambientales y soportar los dispositivos esenciales del sistema: un gabinete técnico, un panel solar y un lector RFID. La base de la estructura, construida en hierro estructural, incorpora un sistema de anclaje mediante placas metálicas empotradas en una base de cemento, lo que asegura estabilidad mecánica frente a cargas estáticas y dinámicas.



Figura 4.4 Estructura para el gabinete

Adicionalmente, la estructura principal integra soportes especializados para cada componente. El gabinete técnico, que guarda los elementos electrónicos: módulo Heltec, batería, breaker y regulador de carga, se fija mediante ángulos de hierro soldados, como se muestra en la Figura 4.4 garantizando su inmovilidad y protección contra vibraciones.

Para el lector RFID se necesitaba una solución de montaje específica. Para ello, se fabricaron soportes de metal perforado, los cuales se pueden observar en la Figura 4.5. Este diseño permite fijar el dispositivo directamente a la estructura, cumpliendo

un doble objetivo: primero, asegura una posición ergonómica para el usuario y, segundo, saca partido de su certificación IP65, que es crucial para operar correctamente en exteriores.



Figura 4.5 Estructura del lector RFID

Paralelamente, la colocación del panel solar fue una decisión estratégica. Se instaló en la zona superior de la estructura, un emplazamiento elegido específicamente para priorizar y maximizar su exposición a la radiación solar. El soporte, fabricado con perfiles galvanizados, incluye una inclinación calculada de 5 grados para maximizar la captación energética en la latitud de implementación, tal como se detalla en la Figura 4.6. Esta configuración no solo optimiza la autonomía del sistema, sino que también evita acumulación de agua o residuos gracias a su diseño angular.



Figura 4.6 Estructura para el panel solar

Finalmente, la instalación se completó con la colocación estratégica de la estación RFID, como se muestra en la Figura 4.7, en un punto determinado por la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”. La base de cemento, reforzada con una placa metálica en su superficie, sirvió como cimiento para soldar y empernar el poste principal, asegurando alineación vertical y resistencia estructural. Este enfoque integral garantiza funcionalidad técnica, seguridad operativa y adaptabilidad a futuras ampliaciones del sistema.



Figura 4.7 Estructura instalada en el cantón Saquisilí

4.1.2 Capa 2: Capa de conectividad

a) Programación de la placa de desarrollo Heltec WiFi LoRa32 Gateway

Este dispositivo Gateway se programó con las mismas cualidades que el dispositivo de la estación RFID añadiendo la comunicación a Firebase y además de la capacidad de guardar datos en una memoria micro SD, tras la pérdida de la conexión a internet. La comunicación se realiza a través de comunicación LoRa y por medio de wifi y envío de datos a Firebase con el protocolo HTTPS como se muestra en la Figura 4.8.

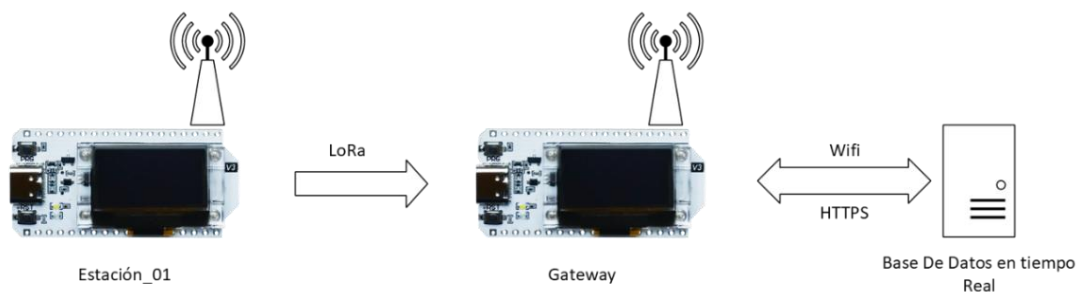


Figura 4.8. Conexión entre dispositivo emisor y Gateway LoRa

En la interfaz de configuración del gateway, cada sección cumple un papel orientado a la administración eficiente y segura de variables críticas como se muestra en la Figura 4.9. En la sección “Inicio de sesión”, se controla el acceso al sistema para garantizar que solo usuarios autorizados puedan modificar parámetros, lo que fortalece la seguridad y evita alteraciones indebidas. La sección “Cambio de contraseña”, permite actualizar credenciales, reduciendo riesgos de vulnerabilidad y fomentando buenas prácticas de protección.

La pantalla de "Estado del dispositivo" funciona como el panel de control principal. Te permite ver de un vistazo toda la configuración activa, incluyendo el estado de la conexión y los niveles de energía.

Una función clave aquí es el reinicio remoto. Esta opción es fundamental para la supervisión, ya que ahorra mucho tiempo de mantenimiento al evitar que tengas que desplazarte físicamente al lugar.

Si algo falla o necesitas aplicar una nueva configuración, la opción "Reinicio del servidor" ejecuta los cambios o soluciona posibles bloqueos sin intervención física. Esto reduce al mínimo el tiempo que el servicio está inactivo.

Para que el sistema sea estable, necesita una buena conexión. En la sección "Configuración wifi", defines los datos de acceso (SSID y contraseña) de la red local. Esto asegura que el gateway permanezca conectado de forma fiable.

En "Configuración MQTT" es donde se ajustan los datos del broker (servidor). Realizar este ajuste correctamente es vital para que el equipo pueda comunicarse bien con la nube y enviar los datos de manera eficiente.

La interfaz permite un ajuste de los módulos de radio, que son el núcleo de la captura de datos:

- Configuración LoRa: Se establece la potencia de transmisión y el identificador de red. Esto es necesario para mantener enlaces de largo alcance y de bajo consumo energético con los dispositivos en campo.
- Configuración RFID: Esta sección, permite regular la potencia del lector. Al ajustar este valor, se optimiza el equilibrio entre el alcance de detección y la precisión, asegurando que se lean las etiquetas correctas.



Figura 4.9. Interfaz Web de configuración de Gateway

En conjunto, estas funcionalidades no solo centralizan la gestión del dispositivo, sino que aportan un nivel de flexibilidad y fiabilidad en entornos IoT, donde la estabilidad y la capacidad de adaptación son importantes.

4.1.3 Capa 3: Capa de Edge Computing

a) Programación de Node-RED en VPS

El punto de partida de la implementación fue configurar un servidor VPS privado. Se optó por un sistema operativo Ubuntu, sobre el cual se instaló Node-RED para que corriera como un servicio. El acceso quedó debidamente protegido con un usuario y contraseña, configuración que se puede verificar en la Figura 4.10.

```
lines 1-20/20 (END)...skipping...
● node-red.service - Node-RED
   Loaded: loaded (/etc/systemd/system/node-red.service; enabled; preset: enabled)
   Active: active (running) since Tue 2025-07-15 06:36:07 -05; 1 week 4 days ago
     Main PID: 1073352 (node-red)
        Tasks: 15 (limit: 977)
      Memory: 111.9M (peak: 154.9M)
         CPU: 5min 58.518s
        CGroup: /system.slice/node-red.service
               └─1073352 node-red
```

Figura 4.10. Servicio de Node-RED activo en VPS privado

En la Figura 4.11 se observa los módulos utilizados en el entorno de Node-RED como *Node-red-contrib-cloud-firestore* para la gestión de los documentos de Firestore y *node-red-contrib-red-contrib-firebase* para el manejo de la Realtime Database.

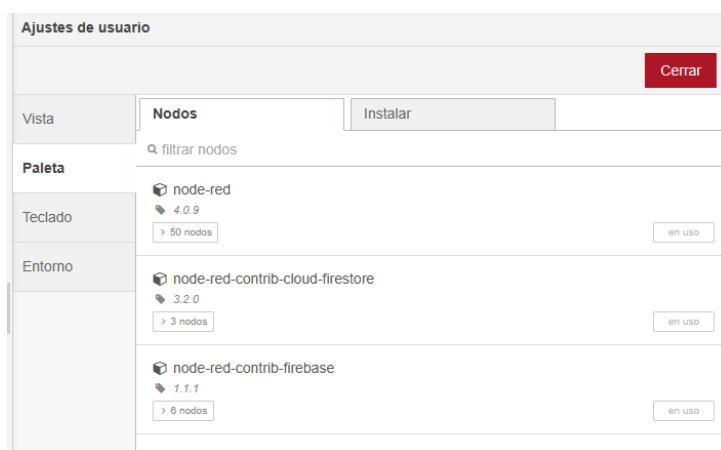


Figura 4.11. Módulos de Node-RED utilizados

En la Figura 4.12 se observa que el flujo comienza escuchando en el mensaje en tiempo real de Firebase, luego se busca si el tag coincide con los registrados previamente y luego se guardan todos los registros por otro lado se busca si hay alguna salida registrada para ese bus y continua con el flujo si es que es así o se detiene.

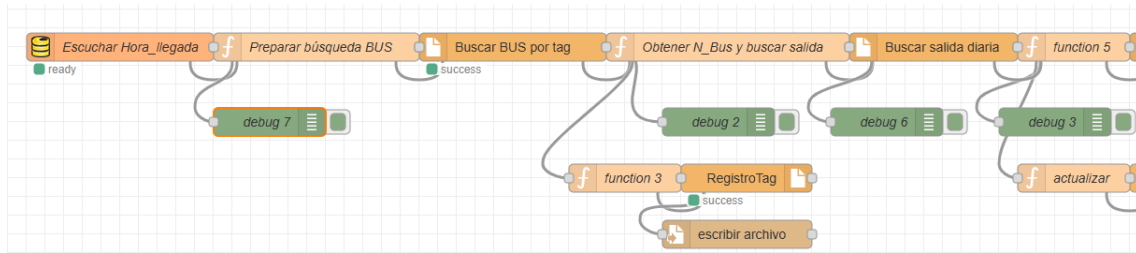


Figura 4.12. Parte inicial del flujo en Node-RED

En la Figura 4.13 continúa actualizando el documento de la salida con la hora de llegada luego el flujo sigue consiguiendo cual es el bus que salió después del bus que pasó por la estación RFID, si es que el bus se pasó de los 25 min correspondientes se genera una multa, para evitar repeticiones, se verifica si la multa ya fue creada y por último en la Figura 4.14 se decide guardar la multa o no.

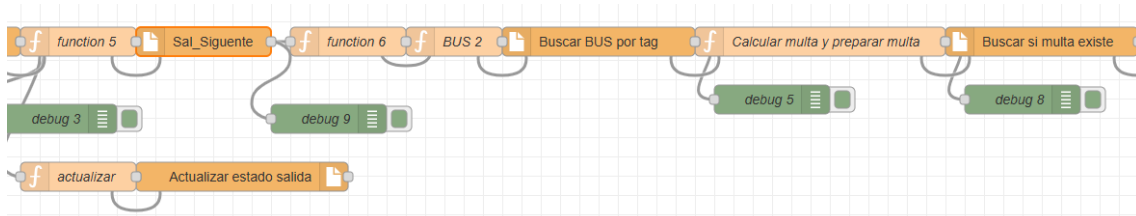


Figura 4.13. Parte central del flujo en Node-RED

Para esta capa se utilizan muchas funciones en lenguaje Java con las consultas que se realizan, con los que procesan, filtran los datos, para una mejor gestión de los recursos.

También, en la capa de dispositivos en la comunicación LoRa se evita enviar datos duplicados y filtrando los tags que comiencen con los dos primeros bytes que se asignan a los tags de la cooperativa de transporte.

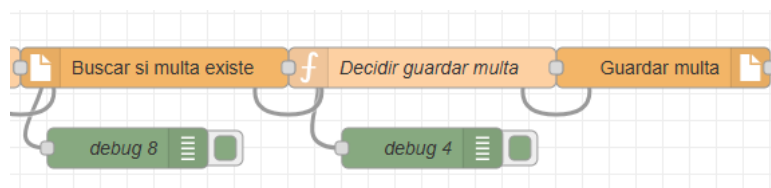


Figura 4.14. Parte final del flujo en Node-RED

4.1.4 Capa 4: Capa de acumulación de datos

Los datos generados en la aplicación se almacenan en Firestore de Firebase por un protocolo HTTPS por medio de una cuenta de servicio con Node-RED, Gateway y también desde la aplicación.

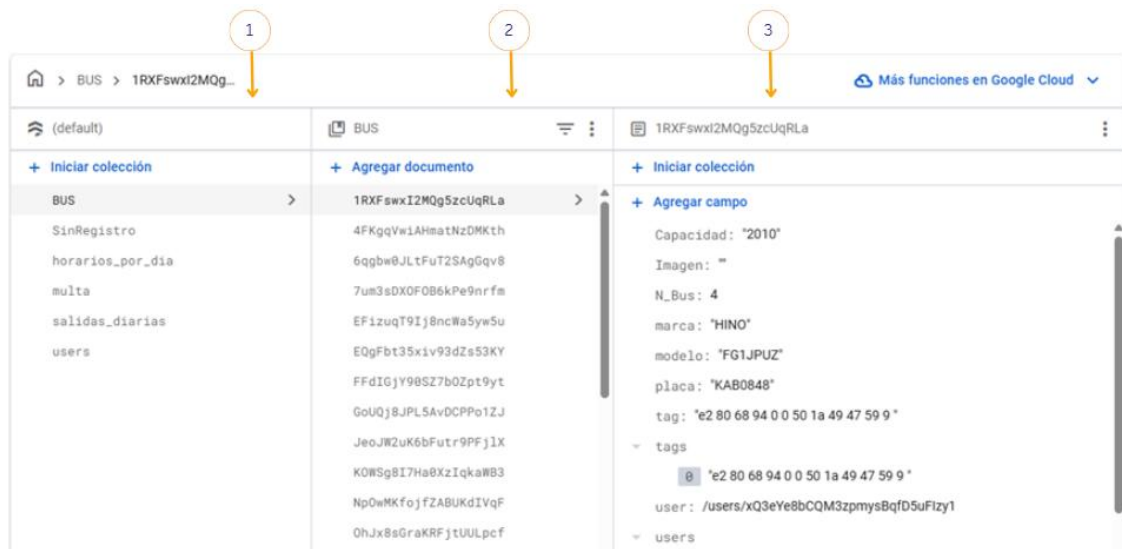


Figura 4.15. Base de datos Cloud Firestore utilizado

En la Figura 4.15 se muestra las colecciones utilizadas para el almacenamiento y uso de datos, la colección BUS (1) almacena todos los datos correspondientes a las unidades de transporte de la cooperativa “Nacional Saquisilí” (2), esta almacena información como número de placa, número de unidad, marca, modelo, tags y a que usuarios pertenece o controla cada unidad (3).

La colección SinRegistro, sirve para almacenar todos los datos entrantes de la base de datos en tiempo real, la colección horarios_por_día contiene los horarios de salida en la ruta Latacunga-Saquisilí, la colección multa, almacena las multas generadas en cada salida que se pasó de los 25 min. La colección salida_diarias almacena todas las salidas de la ruta Latacunga-Saquisilí que fueron ingresadas por los choferes y en la colección Users se encuentran todos los datos de los socios u choferes de la cooperativa de transporte como Número de teléfono, nombre, número de cédula, etc.

4.1.5 Capa 5: Capa de abstracción de datos

En Node-RED haciendo el uso de nodos que permiten realizar consultas a la base de datos Firestore abstrae los datos para luego procesarlos. En la Figura 4.16 se observa la configuración del nodo para abstraer los datos de Firestore, donde se coloca, la colección, el documento, y el método que puede ser filtrado por campo con condiciones como ($=$, $>$, $<$, $<=$, $>=$). Para el uso de este nodo se debe iniciar con una cuenta de servicio.

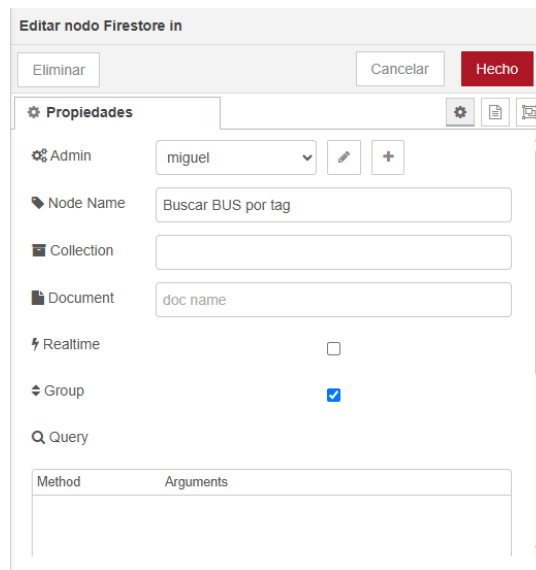


Figura 4.16. Nodo de Firestore in

Además, los datos se pueden obtener, de la base de datos, como del Gateway ya que se ha integrado en Node-RED un dashboard, para el manejo administrador del dispositivo Gateway, a través de mensajes json por protocolo de comunicación MQTT como se muestra en la Figura 4.17.



Figura 4.17. Dashboard para la administración del Gateway

4.1.6 Capa 6: Capa de aplicaciones

a) Construcción de la aplicación en FlutterFlow

En FlutterFlow existe una interfaz visual para la construcción de aplicaciones móviles o web, como se muestra en la Figura 4.18. Esta interfaz permite diseñar pantallas de forma intuitiva mediante componentes como textos, columnas, contenedores, imágenes y botones. Además, FlutterFlow facilita la integración con servicios de backend como Firebase, permitiendo configurar acciones como autenticación, almacenamiento y bases de datos directamente desde la misma interfaz visual como se muestra en la Figura 4.19.

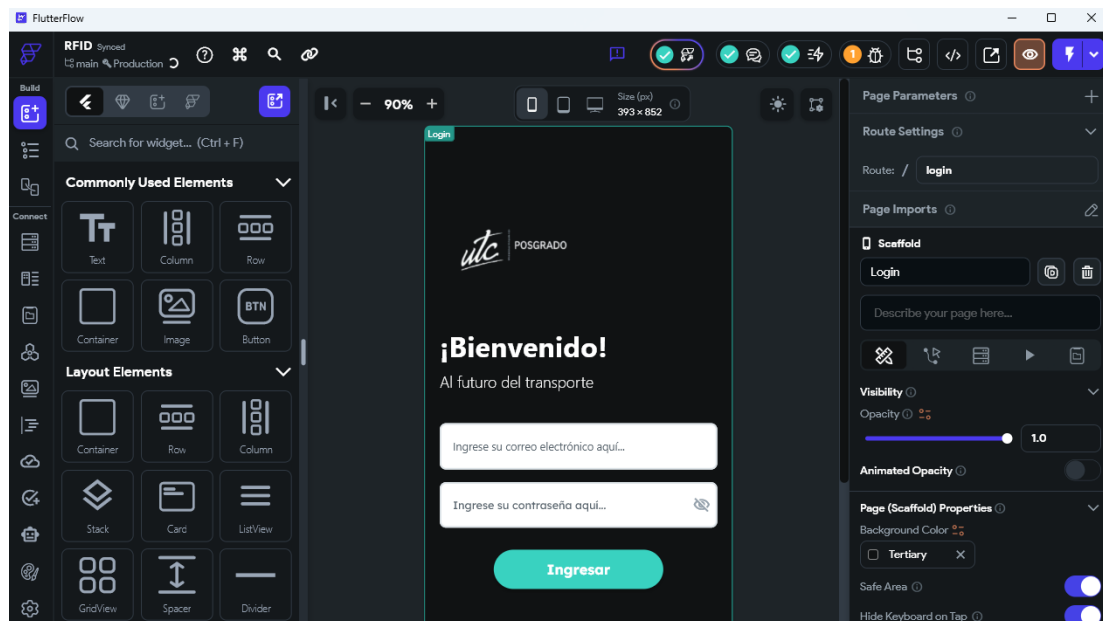


Figura 4.18. Pantalla de inicio de la aplicación en FlutterFlow

La aplicación se realizó una primera propuesta, socializada a todos los socios de la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí” cumpliendo con los requerimientos iniciales de la Tabla 3.6.

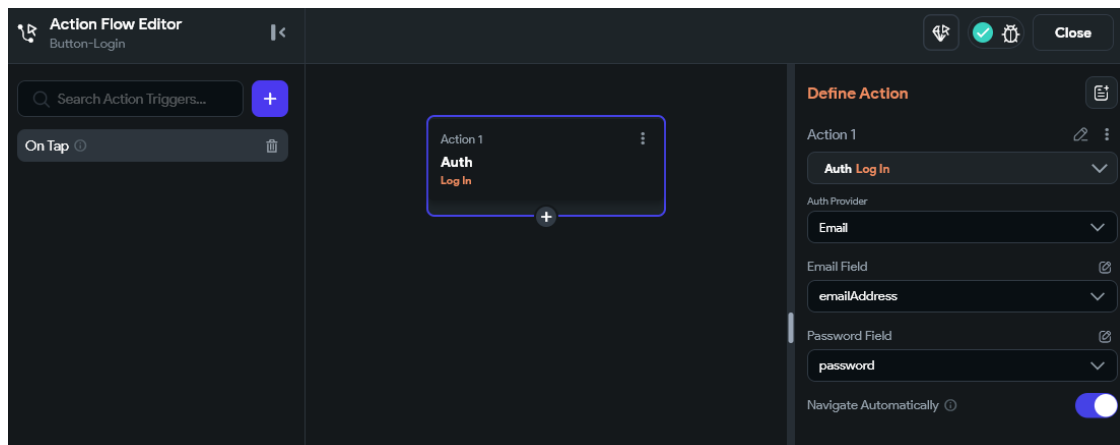


Figura 4.19. Backend de log in en FlutterFlow con Action Flow Editor

La Aplicación se desarrolló en el entorno de desarrollo visual FlutterFlow, el cual permite desarrollar aplicaciones móviles en sistemas como Android, iOS, y también para la web.

En la Figura 4.20 se presenta la interfaz principal de la aplicación móvil. En esta pantalla se puede observar un diseño intuitivo que permite acceder fácilmente a las funciones principales del sistema. Entre los módulos disponibles se encuentran: Salidas diarias (1), que permite consultar todas las salidas programadas; Servicio diario de trabajo (2), donde se visualizan los horarios asignados; Mis multas (3), para revisar las sanciones registradas; y Lista de cobros (4), que muestra los pagos pendientes.



Figura 4.20. Página principal de la aplicación móvil primera versión

Adicionalmente, a partir de la primera reunión con los socios de la cooperativa de transporte, se implementaron nuevos requerimientos, entre ellos la incorporación de un reloj sincronizado con la hora internacional (5), con el objetivo de mantener una referencia temporal precisa en todas las operaciones.

← **SERVICIO DIARIO DE TRABAJO**

Cooperativa de transportes "NACIONAL SAQUISILÍ"

Unidad N°: 1 Fecha: dom, 27 jul

Latacunga		Saquisilí	
Estado	Hora de salida	Duración del viaje	Hora de llegada
✓	07:10:00	22	7:32
✓	08:50:00	25	9:15
🚚	10:30:00	0	00:00

Figura 4.21 Tarjeta digital de servicio diario de trabajo

En la Figura 4.21 se visualiza la representación digital de la tarjeta física utilizada por los choferes de la cooperativa de transporte. Esta versión digital permite simular el funcionamiento de la tarjeta tradicional en la aplicación móvil, facilitando el registro de datos como la hora de llegada al punto de control de manera automatizada y eficiente. La interfaz digital busca mejorar la gestión operativa y reducir el uso de elementos físicos.

LATACUNGA		SAQUISILÍ	
608	24	74	24
5001	25	74	24
1511	24	74	24
101	27	74	24
608	23	74	24

Revisado #15
Despachado

Figura 4.22. Tarjeta utilizada para el control de tiempo manual

Por otro lado, en la Figura 4.22 se muestra la tarjeta física original, la cual los choferes utilizan junto con un reloj mecánico para marcar manualmente la hora de llegada. Este sistema tradicional, aunque funcional, presenta limitaciones en cuanto a precisión y trazabilidad, lo que motivó su digitalización en la aplicación desarrollada.

← Ingresa tu salida de Latacunga

- 1 → Seleccionar fecha: 27/07/2025
- 2 → Selecciona una hora
- 3 → Selecciona un bus

Registrar salida

Figura 4.23. Página para registrar la salida de Latacunga a Saquisilí

La Figura 4.23 muestra la interfaz diseñada para que los choferes registren la hora de salida (2) desde el terminal de Latacunga. Se implementó una funcionalidad clave: el ingreso preciso y organizado de horarios (1). El diseño del sistema partió de las necesidades expresadas por los propios conductores; ahora, cada uno puede seleccionar su unidad asignada (3) y marcar su salida de manera individual. Este registro personal es crucial, ya que fomenta una gestión más transparente y notablemente más eficiente.

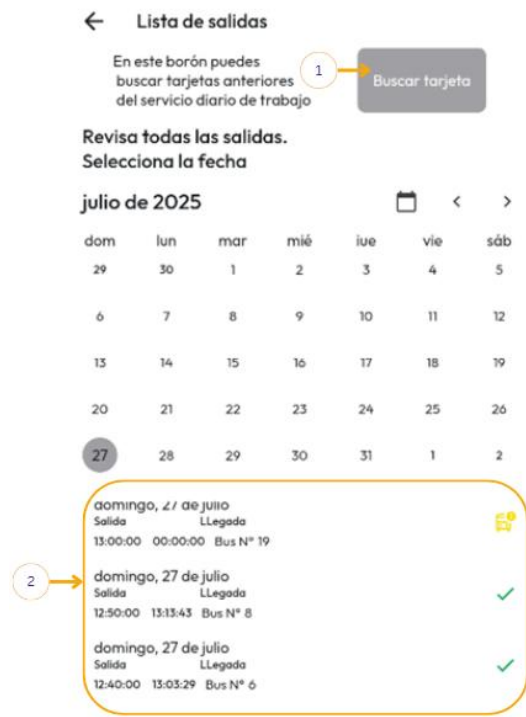


Figura 4.24. Visualización de las salidas diarias

Por otro lado, en la Figura 4.24 la aplicación consolida la visualización de todas las salidas de buses registradas en la jornada (2). Esta pantalla no es solo un registro; es una herramienta de consulta que permite revisar el historial y recuperar tarjetas digitales de días previos con un botón dedicado (1). El impacto de esto es doble: por un lado, se obtiene una trazabilidad completa del servicio y, por otro, la administración adquiere una base sólida para supervisar y analizar si los horarios se están cumpliendo rigurosamente.

La gestión de penalizaciones es otro componente crítico, mostrado en la Figura 4.25, el sistema está programado para imponer una sanción de forma automática cuando un conductor supera el límite de 25 minutos establecido para la ruta. El disparador es claro: por cada minuto adicional, se aplica un cargo de 1 dólar americano. Esta regla no es meramente punitiva; su objetivo es mantener un control estricto y transparente del cumplimiento horario.



Figura 4.25. Área de revisión de multas por pagar

Complementando esto, la interfaz de la Figura 4.26 faculta a los socios para gestionar estos cobros, permitiéndoles marcar las multas como "cobradas" o "pagadas". Este paso cierra el círculo administrativo, agilizando el registro y minimizando errores en la contabilidad, lo cual, a su vez, fomenta la puntualidad general del servicio.



Figura 4.26. Área de revisión de multas por cobrar

Finalmente, la Figura 4.27 detalla el panel de administración. Este módulo centraliza la gestión total del sistema, otorgando al administrador permisos sobre la lista de usuarios (2) y la flota de buses (3), con capacidad para editar todos los campos asociados. Crucialmente, también incluye el control sobre las salidas diarias (1), una función vital que permite la corrección inmediata de cualquier error de registro, asegurando así la integridad de los datos.



Figura 4.27. Área de administrador de la aplicación

4.1.7 Capa 7: Capa de colaboración y procesos

La capa 7, denominada "Capa de colaboración y procesos", actúa como el puente entre la tecnología pura y la gestión operativa diaria. Su función no es solo recolectar datos, sino asegurar que esa información se traduzca en acciones tangibles y decisiones oportunas.

Dicho de otro modo, esta capa inserta los datos directamente en los flujos de trabajo cotidianos de la cooperativa. Al hacerlo, optimiza la coordinación entre los distintos actores (conductores, administración, directiva) y garantiza la trazabilidad completa del servicio. Gracias a esta integración, la tecnología deja de ser un simple recolector de información y se transforma en una herramienta activa para la toma de decisiones basada en evidencia y la mejora continua.

Un beneficio principal de esta capa es el monitoreo en tiempo real. En la práctica, esto significa que el personal de secretaría y la directiva de la cooperativa “Nacional Saquisilí” ya no operan a ciegas. Pueden consultar la plataforma en cualquier momento para verificar salidas, llegadas y, fundamentalmente, el cumplimiento de los tiempos meta establecidos. Tener esta información al instante reduce drásticamente la incertidumbre operativa y faculta a la administración para responder proactivamente ante cualquier desviación del plan, en lugar de reaccionar cuando ya es tarde.

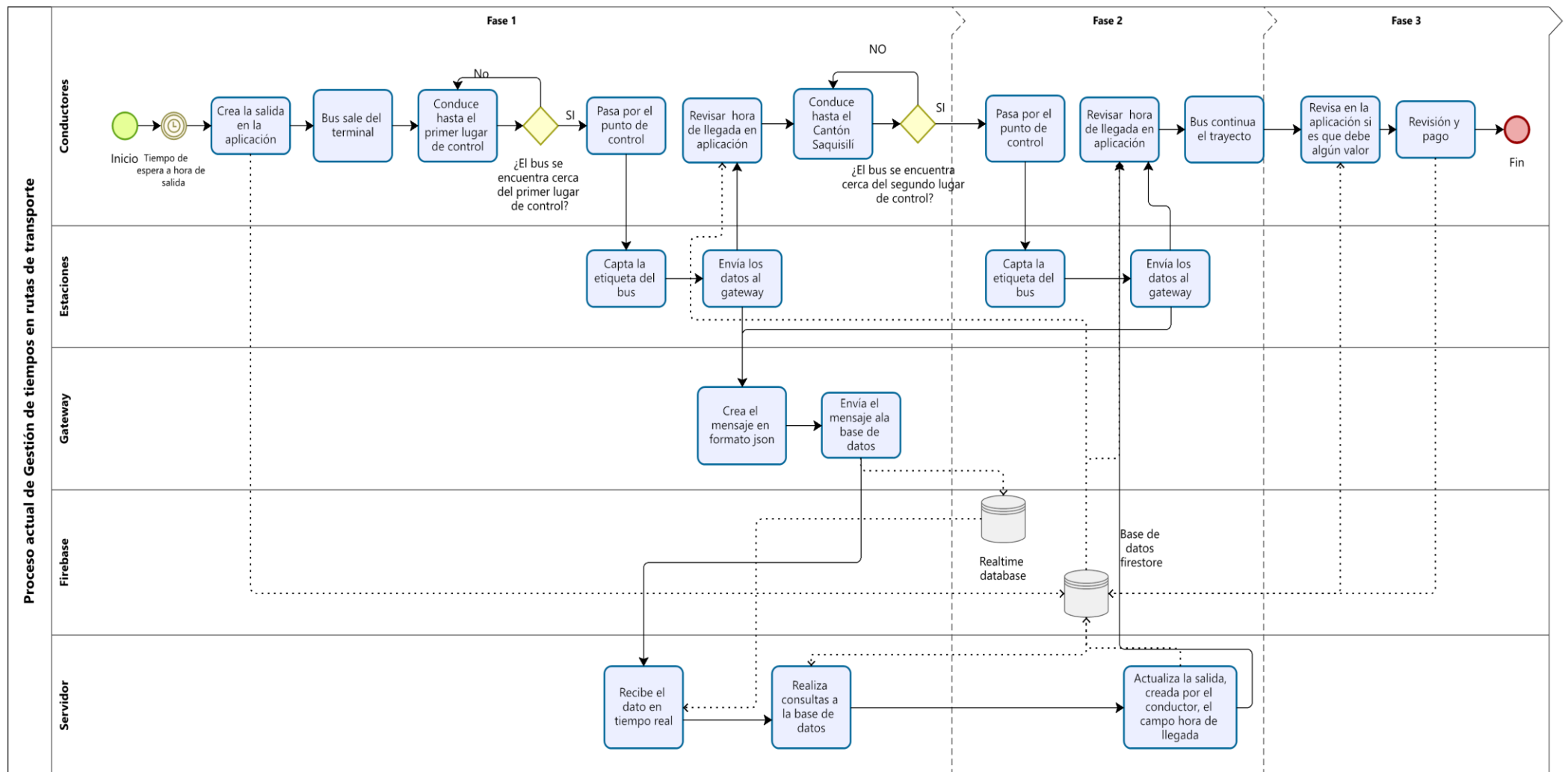


Figura 4.28. Proceso mejorado del sistema de control de horario mediante el sistema IoT

El sistema centraliza los registros históricos, genera reportes automáticos y simplifica la aplicación de sanciones conforme a las reglas definidas por la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí”. Esto no solo reduce la carga administrativa, sino que también aporta transparencia y equidad en la gestión de penalizaciones, eliminando la discrecionalidad que caracteriza a los procesos manuales como se muestra en la Figura 4.28.

Además, la capa de colaboración y procesos impulsa el análisis estratégico. Los datos consolidados permiten identificar patrones de puntualidad, niveles de congestión y tendencias en el uso de la flota. Esta información es clave para la optimización de rutas, la asignación eficiente de recursos y la planificación de mejoras a mediano y largo plazo.

En cuanto a su relación con las demás capas del sistema IoT, esta capa recibe datos procesados desde la capa de abstracción (Node-RED) y la capa de aplicaciones (FlutterFlow), asegurando que la información llegue depurada y lista para su interpretación.

4.2 Verificación o testeo

4.2.1 Prueba de ubicación de las etiquetas o tags

Se hicieron pruebas con el sistema, se encontraron muchas salidas con errores, una de las causas fue la posición de la etiqueta. En una segunda fase, se colocó tags de pruebas en algunos vehículos en la parte inferior izquierda del parabrisas, donde se comprobaron mejoras significativas, con la detección. En la última fase se colocó un nuevo tag, al lado izquierdo del bus, la ubicación fue centrada en el cristal o lejos de zonas de metal, y otro nuevo tag en el parabrisas del bus (1) como se muestra en Figura 4.29.



Figura 4.29 Tag en parabrisas del bus número 15

4.2.2 Estación RFID

La orientación de la antena RFID constituyó a las variables críticas en el rendimiento del sistema, ya que inciden directamente en la precisión y confiabilidad de las lecturas. En la fase inicial de implementación, la antena fue instalada con una disposición perpendicular

respecto al eje longitudinal del bus, lo cual pudo haber limitado el área efectiva de detección y, en consecuencia, afectado el proceso de identificación.

En la Tabla 4.2 se presentan los porcentajes de error registrados durante el periodo en que el sistema operó bajo dicha configuración. Los resultados permiten inferir que la orientación adoptada incidió en la ocurrencia de fallos de lectura. Así mismo, se indica que el bus número 3 se incorporó a las operaciones en fechas posteriores al resto de las unidades, circunstancia que explica la discrepancia en el volumen de registros recopilados para dicho vehículo.

Tabla 4.2. Salidas registradas los primeros 26 días del sistema funcionando

N° Bus	Correcto	Error	Total	% Error
1	56	8	64	12,50 %
2	40	7	47	14,90 %
3	4	5	9	55,60 %
4	64	11	75	14,70 %
5	22	10	32	31,30 %
6	28	33	61	54,10 %
8	71	12	83	14,50 %
9	15	1	16	6,30 %
10	57	12	69	17,40 %
11	44	11	55	20,00 %
14	54	8	62	12,90 %
15	40	11	51	21,60 %
16	74	12	86	14,00 %
17	54	25	79	31,60 %
18	48	12	60	20,00 %
19	60	22	82	26,80 %
20	61	13	74	17,60 %
21	56	6	62	9,70 %
22	54	16	70	22,90 %
24	50	13	63	20,60 %
27	56	11	67	16,40 %
28	35	9	44	20,50 %
29	62	15	77	19,50 %
30	51	12	63	19,00 %
31	33	12	45	26,70 %
32	54	10	64	15,60 %
33	55	14	69	20,30 %
			Promedio	21,40 %

En una segunda fase de ajuste, y como respuesta a las limitaciones observadas en la orientación inicial, se procedió a modificar la disposición del lector RFID hacia el parabrisas de los autobuses. A partir de los ensayos realizados se concluyó que el ángulo de instalación más adecuado corresponda entre 35° a 50° respecto al parabrisas, lo que permitirá optimizar la captura de datos y reducir los errores de lectura previamente registrados. En la Tabla 4.3 se presentan los datos recolectados durante la segunda fase de ajuste del sistema. En este período, el bus número 3 logró incorporarse adecuadamente al proceso de integración, aunque inicialmente se evidenció cierta resistencia al cambio por parte de los usuarios. Esta etapa resultó particularmente compleja, debido a que los errores de lectura generaron inconformidad entre los socios de la cooperativa de

transporte “Nacional Saquisilí”. Asimismo, durante esta fase se continuó utilizando de manera paralela el reloj mecánico, excepto algunos días jueves en los que todas las unidades se encontraban operativas, ocasión en la cual dicho dispositivo era dejado de lado.

Tabla 4.3. Segunda fase de 29 días.

N° Bus	Correcto	Error	Total	% Error
1	85	8	93	8,60 %
2	75	12	87	13,80 %
3	65	14	79	17,70 %
4	84	8	92	8,70 %
5	80	2	82	2,40 %
6	79	4	83	4,80 %
8	100	1	101	1,00 %
9	35	5	40	12,50 %
10	69	13	82	15,90 %
11	69	13	82	15,90 %
14	77	4	81	4,90 %
15	84	10	94	10,60 %
16	65	1	66	1,50 %
17	70	19	89	21,30 %
18	68	4	72	5,60 %
19	86	11	97	11,30 %
20	69	8	77	10,40 %
21	94	6	100	6,00 %
22	64	6	70	8,60 %
24	76	21	97	21,60 %
27	68	2	70	2,90 %
28	78	17	95	17,90 %
29	65	6	71	8,50 %
30	74	4	78	5,10 %
31	76	3	79	3,80 %
32	71	12	83	14,50 %
33	76	1	77	1,30 %
			Promedio	9,50 %

Finalmente, se incorporó una antena adicional con una orientación prácticamente paralela al parabrisas del autobús, tal como se ilustra en la Figura 4.30. Esta antena fue instalada a una altura aproximada de 4 metros sobre el nivel del asfalto, lo que permitió ampliar el rango de cobertura y optimizar la detección de las etiquetas.



Figura 4.30. Estación RFID con lector integrado y antena adicional

Esta segunda antena mejoró significativamente, hicieron que los errores disminuyan a cero, además que el uso del reloj mecánico fue nulo. En la Tabla 4.4 los datos de 31 días con cero errores, estos datos son las salidas que ingresó el chofer de cada unidad, aquí hay que considerar que los datos fueron limpiados de salidas incompletas por causas como, daño de unidad o cambio de ruta por accidentes, etc.

Tabla 4.4. Errores después de la colocación de la segunda antena

N° Bus	Correcto	Error	Total	% Error
1	83	0	83	0,00 %
2	83	0	83	0,00 %
3	113	0	113	0,00 %
4	100	0	100	0,00 %
5	114	0	114	0,00 %
6	114	0	114	0,00 %
8	108	0	108	0,00 %
9	87	0	87	0,00 %
10	100	0	100	0,00 %
11	104	0	104	0,00 %
14	99	0	99	0,00 %
15	101	0	101	0,00 %
16	62	0	62	0,00 %
17	92	0	92	0,00 %
18	77	0	77	0,00 %
19	119	0	119	0,00 %
20	97	0	97	0,00 %
21	103	0	103	0,00 %
22	90	0	90	0,00 %
24	68	0	68	0,00 %
27	103	0	103	0,00 %
28	59	0	59	0,00 %
29	89	0	89	0,00 %
30	90	0	90	0,00 %
31	100	0	100	0,00 %
32	99	0	99	0,00 %
33	96	0	96	0,00 %
			Promedio	0,00 %

4.2.3 Aplicación móvil del sistema

En sus fases iniciales, el sistema fue concebido para que los responsables ingresaran la planificación completa de las salidas en una única operación diaria. Bajo este esquema, se pretendía simplificar la gestión mediante el registro centralizado de todos los autobuses que trabajarían en la jornada, así como el orden previsto para cada salida. Este enfoque respondía a la necesidad de reducir la carga administrativa y evitar duplicidad en los procesos de registro como se muestra en la Figura 4.31.

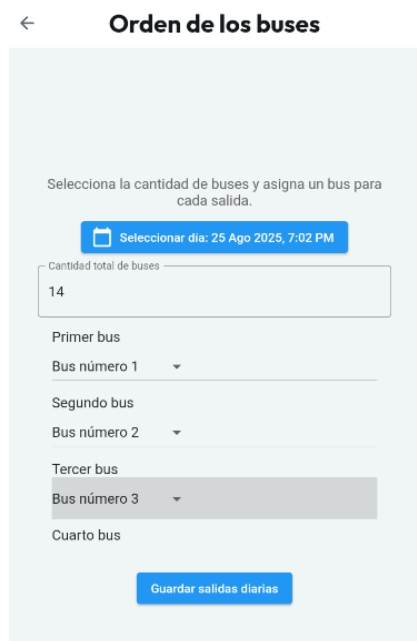
La imagen muestra la interfaz de usuario de una aplicación móvil titulada "Orden de los buses". En la parte superior, hay un botón de retroceso y el título. El texto principal indica: "Selecciona la cantidad de buses y asigna un bus para cada salida." Debajo de esto, hay un botón azul que dice "Seleccionar día: 25 Ago 2025, 7:02 PM". A continuación, hay un campo de entrada para "Cantidad total de buses" con el valor "14". Luego, se listan cuatro buses con sus respectivos campos de selección: "Primer bus" (Bus número 1), "Segundo bus" (Bus número 2), "Tercer bus" (Bus número 3) y "Cuarto bus". El campo "Bus número 3" está resaltado. En la parte inferior, hay un botón azul que dice "Guardar salidas diarias".

Figura 4.31. Ingreso de todas las salidas diarias

Sin embargo, la puesta en marcha del sistema chocó rápidamente con la realidad operativa del transporte público. Se hizo evidente que el día a día es mucho más dinámico de lo que un plan estático puede prever.

Se encontraron varios factores que alteraban constantemente la planificación:

- En ocasiones, era necesario incorporar buses que originalmente pertenecían a otros turnos.
- Los retrasos operativos eran frecuentes, provocando que los conductores perdieran los turnos que se les habían asignado.
- Surgían averías mecánicas inevitables que desorganizaban por completo el orden de salidas establecido.

Esta serie de imprevistos demostró que la planificación rígida con la que partimos era insuficiente. Para que el control fuese verdaderamente eficiente en condiciones reales, el sistema necesitaba ser mucho más flexible y capaz de adaptarse a estas variables.

Ante este escenario, quedó claro que la aplicación requería un enfoque evolutivo. Iniciamos un proceso de ajuste progresivo que se nutrió directamente de la experiencia de los propios actores del sistema de transporte.

En lugar de imponer cambios, establecimos reuniones de seguimiento periódicas para escuchar y registrar sus observaciones y sugerencias. Fue este diálogo constante lo que permitió refinar la herramienta. De hecho, en el Anexo I se puede consultar la bitácora detallada de cómo se fueron incorporando estos ajustes.

El rediseño permitió un mejor uso en la asignación del orden de salida, posibilitando que los registros se actualicen conforme a las contingencias del servicio. En consecuencia, la herramienta evolucionó hacia un sistema que se adapta a la variabilidad de la operación de buses, asegurando un control confiable y en tiempo real de las salidas diarias.

Durante la primera reunión con los socios se presentó una aplicación desarrollada para registrar las salidas diarias de los buses. El sistema permite seleccionar la fecha, la hora de salida previamente incluidas en Firebase y la unidad correspondiente, de manera que cada registro se efectúe de forma individual y organizada. Este procedimiento, realizado bus por bus, garantiza un control estructurado de las operaciones, como se observa en la Figura 4.32.

La imagen muestra una interfaz de usuario para un sistema de registro de salidas de buses. El encabezado de la pantalla es "Ingresa tu salida de Latacunga" con un ícono de flecha hacia atrás a la izquierda. El formulario principal tiene un fondo gris claro y contiene los siguientes elementos: un botón azul con un ícono de calendario y el texto "Seleccionar fecha: 26/08/2025"; un menú desplegable con el texto "Selecciona una hora"; otro menú desplegable con el texto "Selecciona un bus"; y un botón azul "Registrar salida" al final del formulario.

Figura 4.32. Ingreso de todas las salidas diarias de manera individual

Esta versión para el registro de salidas presentó un funcionamiento adecuado en la mayoría de los casos. Sin embargo, se identificaron limitaciones en situaciones específicas, como durante los días feriados y ciertos domingos, en los cuales la disponibilidad de unidades o la disminución de la demanda de usuarios obliga a modificar los horarios de salida desde el terminal de Latacunga. Esta condición dificultaba el registro de la hora real de salida, debido a que únicamente se permitía seleccionar entre opciones predefinidas. En respuesta a esta necesidad, se implementó una nueva

funcionalidad que incorpora un reloj digital, similar a la configuración de una alarma, lo que permite ingresar manualmente la hora exacta de la salida y registrar el recorrido de manera más precisa, tal como se observa en la Figura 4.33.

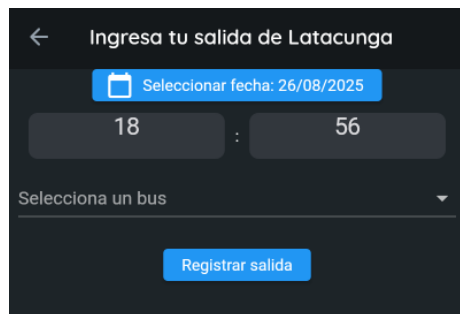


Figura 4.33. Ingreso de salidas en modo feriado

En la Figura 4.34 se presenta la opción que permite habilitar el modo feriado en la aplicación. Para su implementación fue necesario crear un nuevo rol de usuario denominado “Directiva”, de manera que únicamente el personal autorizado como la persona encargada de la vigilancia o los miembros de la directiva tenga la facultad de activarlo cuando la situación lo requiera (para mayor detalle sobre el procedimiento se recomienda consultar el Manual de Usuario, disponible en el Anexo IV). Con esta restricción, se garantiza que no se pueda modificar dicha configuración, preservando así la integridad y el control del sistema.



Figura 4.34. Botón del modo feriado

Asimismo, las funciones asociadas a los botones de pagar, cobrar y ver multas fueron eliminadas, debido a que generaban confusión entre los usuarios, requerían tiempos adicionales en la gestión o simplemente no eran utilizados. En su lugar, se incorporó la opción de visualizar la tarjeta digital de todos los buses, accesible para todos los usuarios.

De esta manera, el proceso de pago se mantiene de forma interna, ya que los choferes o socios pueden revisar directamente la tarjeta digital y proceder con el pago únicamente en los casos en que corresponda.

Figura 4.35. Edición de la salida por parte del usuario.

Con el objetivo de garantizar la calidad y confiabilidad de la información registrada en la aplicación, se incorpora una funcionalidad que permite la edición y eliminación de salidas diarias en caso de inconsistencias como se muestra en la Figura 4.35. Esta mejora surgió como respuesta a errores frecuentes en la digitalización o en la selección de parámetros durante el ingreso de datos. Es importante señalar que la edición se encuentra restringida, permitiendo únicamente la modificación del número de bus, mientras que los campos de fecha y hora permanecen bloqueados para preservar la integridad del registro.

En la Figura 4.36 se presenta la versión actualizada de la página principal de la aplicación móvil. Uno de los nuevos requerimientos consistió en reemplazar la imagen del bus que se mostraba por defecto en la Figura 4.27 (correspondiente a un modelo antiguo que ya no pertenece a la cooperativa) por la identificación institucional de la cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí” (1), con el fin de mantener la coherencia visual y la representatividad del sistema.



Figura 4.36. Área de administración final

Asimismo, se realizaron modificaciones funcionales en el área de administración, donde se eliminó la opción de revisión de multas y se incorporó una nueva funcionalidad denominada “Salidas con multa” (2). Esta permite visualizar todos los registros obtenidos a través del sistema RFID, optimizando el control y la trazabilidad de los datos generados por los dispositivos instalados en las unidades de transporte.



Figura 4.37. Selección de rutas de la aplicación móvil

La Figura 4.37 presenta la interfaz de selección de rutas de la aplicación, que permite a los usuarios elegir entre las opciones Latacunga-Saquisilí y Saquisilí-Latacunga que redirigen a otras páginas de acuerdo la ruta seleccionada. Este enfoque tiene como objetivo principal el monitoreo y optimización de los tiempos de viaje, en la ruta Saquisilí-Latacunga.

4.3 Análisis de costos del sistema de tiempos

Para realizar el cálculo del ROI primero se definió un objetivo claro, acerca del proyecto, del porque se realiza esta inversión. El objetivo principal es: Ahorrar costos en operaciones y gestionar el tiempo de una manera transparente. Luego se deben realizar los cálculos básicos, estos cálculos no toman en cuenta el valor económico que representa que los choferes o ayudantes se bajen en cada estación a marcar el tiempo.

4.3.1 Costos del sistema actual

El análisis económico de la propuesta IoT para la Cooperativa de Buses Saquisilí se inició con un desglose de los costos asociados al sistema de gestión de tiempos vigente, el cual combina métodos manuales y analógicos.

Tabla 4.5 Cantidad de picadas diarias

Días	Cantidad Picadas	Dinero
Lunes	94	\$ 9,40
Martes	94	\$ 9,40
Miércoles	94	\$ 9,40
Jueves	131	\$ 13,10
Viernes	94	\$ 9,40
Sábado	85	\$ 8,50
Domingo	78	\$ 7,80
Total	670	\$ 67,00

Actualmente, el registro horario de los buses se realiza mediante relojes mecánicos y, en determinadas estaciones, con la intervención de un operario encargado de documentar el paso de cada unidad. Este último proceso implica un costo recurrente de 0,10 USD por picada, registro manual del tiempo, generando un gasto diario que fluctúa según la demanda operativa.

Como se evidencia en la Tabla 4.5, el número de picadas varía entre 78, los domingos, y 131, los días jueves, con un total semanal de 670 registros que representan un desembolso de 67,00 USD. Esta carga operativa, extrapolada anualmente, alcanza los 3.484 USD al año, sin considerar variables adicionales como días festivos o incrementos en la flota vehicular.

Tabla 4.6 Costos anuales de funcionamiento del sistema actual.

Detalle	Cantidad Anual	V. Unitario	Total Anual
Tarjeta de control	5110	\$ 0,05	\$ 255,50
Registros de tiempo	34840	\$ 0,10	\$ 3.484,00
Mantenimiento de relojes	4	\$ 3,00	\$ 12,00
Total			\$ 3.751,50

También se genera un gasto anual, detallado en la Tabla 4.6, distribuido en tres rubros principales: tarjetas de control, registros manuales y mantenimiento de relojes. Las tarjetas de control se utilizan a razón de 14 unidades diarias, correspondientes al número de buses que operan cada día; para obtener el valor anual, este consumo se multiplica por los 365 días del año. En cuanto a los registros manuales, como se muestra en la Tabla 4.5, se realizan aproximadamente 670 picadas semanales, cuyo valor anual resulta de multiplicarlas por las 52 semanas del año. Finalmente, el mantenimiento de relojes se ejecuta cuatro veces al año.

Estos procedimientos reflejan una alta dependencia de recursos humanos, lo que incrementa la posibilidad de errores y eleva los costos operativos. La migración a un sistema IoT elimina los costos variables asociados a las tarjetas y registros manuales, además de reducir las labores de mantenimiento, optimizando así los recursos económicos del sistema.

Tabla 4.7 Costo de implementación del reloj mecánico.

Detalle	Cantidad	Total
Acoprint Model 150 Punch Card Time Clock System, Green (150QR4)	1	\$ 915,00
Estructura del reloj	1	\$ 50,00
Total		\$ 965,00

Adicionalmente, el sistema actual requiere una inversión fija en infraestructura tecnológica, detallada en la Tabla 4.7. Si bien este equipo reduce la dependencia de intervención humana, su diseño limita la escalabilidad y no elimina por completo los costos variables asociados a la supervisión manual, en la Tabla 4.8 se presenta el costo total del sistema actualmente utilizado por la Cooperativa “Nacional Saquisilí”.

Tabla 4.8 Costos del sistema actual

Detalle	Total Anual
Implementación (Reloj Mecánico)	\$ 965,00
Costos de funcionamiento anual	\$ 3.751,50
Total	\$ 4.716,50

4.3.2 Costos del sistema IoT de gestión de tiempos propuesto

La implementación del sistema IoT propuesto requiere una inversión inicial según se detalla en la Tabla 4.9. Este monto incluye dos estaciones RFID, el desarrollo de una aplicación personalizada y costos de mano de obra.

Tabla 4.9 Costos de la estación RFID

Detalle	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Lector (con antena integrada RFID)	1	\$ 500,00	\$ 500,00
Antena RFID	1	\$ 250,00	\$ 250,00
Transporte	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Gabinete metálico	1	\$ 60,00	\$ 60,00
PCB placa	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Cables	5	\$ 0,40	\$ 2,00
Controlador de carga	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Tornillos	12	\$ 0,10	\$ 1,20
Pernos	10	\$ 0,13	\$ 1,30
Panel Solar	1	\$ 70,00	\$ 70,00
Estructura metálica	1	\$ 250,00	\$ 250,00
WiFi LoRa 32 V3	1	\$ 35,00	\$ 35,00
Base de cemento	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Batería	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Ingeniería	1	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
Total			\$2.409,50

Cada estación RFID, cuyos componentes se enumeran en la Tabla 4.9, tiene un costo unitario de 2.409,50 USD en fase prototipo. Si bien estos valores reflejan un escenario a pequeña escala, se proyecta una reducción en producción masiva debido a economías de escala y optimización de insumos.

Cuando la cooperativa desee adquirir una nueva estación RFID para mejorar el control de sus flotas, se debe evaluar si es necesario incorporar un repetidor de señal LoRa. En caso de requerirse, este dispositivo tiene un costo adicional de 245,00 USD, como se especifica en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Costos de un repetidor Lora

Detalle	Cantidad	V. Unitario	V. Total
WiFi LoRa 32 V3	1	\$ 35,00	\$ 35,00
Antena	1	\$ 95,00	\$ 95,00
Cable	1	\$ 35,00	\$ 35,00
Estructura	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Panel solar	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Batería 18650	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Total			\$ 245,00

Adicionalmente, el sistema IoT propuesto incorpora un costo anual de 120 USD asociado al servidor activo, esencial para garantizar el funcionamiento continuo y la sincronización de datos en tiempo real. Este gasto es anual, aunque mínimo en comparación con los 3.751,50 USD anuales del sistema actual, se compensa con la eliminación de costos variables de las tarjetas de control, registros manuales y la reducción de mantenimiento.

El análisis presentado detalla la inversión requerida para la implementación del sistema IoT de gestión de tiempos, cuyo objetivo es optimizar las operaciones de la cooperativa

mediante el registro automatizado de los tiempos de recorrido y la obtención de información confiable en tiempo real. Los costos descritos en la Tabla 4.11 corresponden al valor neto (sin IVA) de la solución tecnológica propuesta, que integra los componentes de hardware, software, instalación y capacitación necesarios para su operatividad. La inversión considera un horizonte de funcionamiento de tres años, durante los cuales se prevé el uso de un servidor activo con renovación anual, garantizando la continuidad y estabilidad del sistema.

Tabla 4.11 Costos de sistema IoT de gestión de tiempos propuesto

Detalle	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Estación RFID	2	\$ 2.409,50	\$ 4.819,00
Aplicación	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Servidor activo	3	\$ 120,00	\$ 360,00
Gateway	1	\$ 309,50	\$ 309,50
Etiquetas	84	\$ 1,50	\$ 126,00
Repetidor	1	\$ 245,00	\$ 245,00
Total			\$ 7.359,50
Total con imprevistos			\$ 8.095,45

4.3.3 Cálculo del retorno de la inversión (ROI)

Para realizar el cálculo del ROI se tomó en cuenta el costo de la implementación completa del sistema IoT de gestión de tiempos de la ruta Latacunga- Saquisilí, y para ello se necesitan 2 estaciones RFID, que reemplazarían los métodos actuales que se manejan.

A continuación, se lleva a cabo el cálculo del ROI, para ello se analizó la fórmula, la cual se muestra en la Ec. 4.1.

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

El *Beneficio* se determinó a partir del ahorro que se genera por la implementación del sistema IoT, para ello también se estipula el tiempo de funcionamiento para el sistema a implementar. Este tipo de sistemas, pueden durar muchos años, cada dispositivo, tiende a tener una duración diferente, para ello se dispone que el sistema completo podrá estar operativo, sin fallos y sin necesidad de cambios de ninguno de sus dispositivos, siempre y cuando no existan manipulaciones del personal no autorizado, ni se presenten acontecimientos imprevistos, por 3 años.

Teniendo en cuenta esto, se considera como beneficio los costos de funcionamiento mostrados en la Tabla 4.8 multiplicado por los 3 años más la implementación del sistema actual.

$$\text{Beneficio} = (\$3.751,50 * 3) + \$965,00$$

$$\text{Beneficio} = \$12.219,50$$

$$ROI = \frac{\$12.219,50 - \$8.095,45}{\$8.095,45}$$

$$ROI = 0,509$$

Se obtuvo un cálculo del Retorno de la Inversión (ROI) del sistema IoT de gestión de tiempos de un valor aproximado de 51 %, lo que significa que, por cada dólar invertido, se ahorran 0,51 USD en beneficios netos. Es decir, la cooperativa se ahorra aproximadamente 4.124,05 USD, este resultado evidencia una buena rentabilidad y posiciona al proyecto como una solución no solo innovadora desde el punto de vista tecnológico, sino también eficiente en términos económicos.

El ROI obtenido demuestra que la propuesta tiene un impacto significativo en la optimización de recursos. En este caso, el sistema IoT automatiza el control y registro de tiempos en rutas de transporte, eliminando procesos manuales propensos a errores, reduciendo los tiempos improductivos, y mejorando la puntualidad y coordinación operativa. Estas mejoras generan ahorros sustanciales en mantenimiento, supervisión y gestión del personal, además de contribuir a una mejor experiencia para los usuarios del servicio. Como respaldo de la implementación de un producto mínimamente viable (PMV) funcional, se presenta el Anexo II.

Desde una perspectiva estratégica, este tipo de retorno financiero valida plenamente la inversión. No solo se recupera el capital inicial en poco tiempo, sino que además se logra una generación de valor constante a lo largo del tiempo. Esto convierte al sistema en una herramienta escalable, que puede ser replicada en otras cooperativas, rutas o sectores logísticos con beneficios similares, sin necesidad de mayores ajustes en su diseño.

CAPITULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El método actual de la gestión de tiempos en la Cooperativa de Transportes “Nacional Saquisilí” se caracteriza por métodos manuales que implican costos operativos significativos, el sistema vigente demanda una inversión inicial de 965,00 USD y genera un gasto anual de 3.751,50 USD; además al empatizar con los stakeholders, se encontró como problema crítico, la alteración de las tarjetas físicas.
- Se ha logrado diseñar un sistema IoT de 7 capas con el uso de tecnología RFID y LoRa, obteniendo un error de lectura de 0 % después de analizar varias ubicaciones del tag RFID en el bus, así como también la cantidad y el posicionamiento de las antenas.
- Económicamente, se ha determinado una inversión inicial para el sistema IoT de \$8.095,45 USD, dicha inversión elimina los costos variables del método manual, obteniendo un ROI aproximado de 51%, lo cual indica que se obtendrá 0,51 USD de ahorro por cada 1 USD invertido en 3 años.
- La implementación del sistema IoT en la cooperativa de transportes “Nacional Saquisilí”, es técnica y económicamente viable, beneficiando a la empresa con la optimización de los recursos asociados a la gestión de tiempos en la ruta Latacunga-Saquisilí.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda adecuar la estructura de las estaciones RFID con protección adicional, como sistemas de anclaje reforzado. Esta medida busca mitigar riesgos de robo o vandalismo, especialmente considerando que los dispositivos están expuestos en vía pública y operan de forma autónoma. La inversión en seguridad física es clave para garantizar la continuidad operativa del sistema y proteger los activos tecnológicos.
- El uso del protocolo LoRaWAN puede ser significativamente más efectivo al implementar un número considerable de estaciones RFID distribuidas estratégicamente. Esto permitiría mejorar la cobertura, la confiabilidad de la transmisión de datos y la eficiencia energética del sistema.

- Se sugiere incorporar módulos adicionales en la app, como alertas de tráfico, integración con sistemas de pago digital y notificaciones para usuarios. Estas mejoras podrían aumentar la interacción con los pasajeros y mejorar la experiencia de uso del transporte público.
- Se recomienda que la Cooperativa amplíe su sistema de gestión incorporando más estaciones que permitan cubrir la ruta Saquisilí – Latacunga, ya que esta también presenta inconvenientes operativos que afectan el servicio. La inclusión de estas estaciones facilitará un control más preciso de las unidades y mejorará la programación de salidas. Esta propuesta es viable tanto técnicamente, porque la infraestructura actual es escalable y admite la integración de nuevas estaciones sin modificaciones significativas, como económicamente, dado que la inversión adicional se compensa con los beneficios esperados.

CAPITULO VI

6. Referencias bibliográficas

- [1] D. Legislativo, “Constitución de la república del Ecuador,” 2008. [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [2] “Ley orgánica de transporte terrestre tránsito y seguridad vial.” [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [3] S. Sri, R. Ramu, and B. Partibane, “RFID based bus tracking system,” in *2023 International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS)*, IEEE, Oct. 2023, pp. 1395–1400. doi: 10.1109/ICSSAS57918.2023.10331683.
- [4] U. Hing and H. J. Lee, “Development of bus tracking system using radio frequency identification (RFID) and artificial intelligence (AI) implementation,” in *2024 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA)*, IEEE, Jul. 2024, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISIEA61920.2024.10607271.
- [5] J. U. Mageswaran *et al.*, “Revolutionizing public transport: RFID-enabled occupancy monitoring and frequency analysis system,” in *2024 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, IEEE, Apr. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/IC3IoT60841.2024.10550367.
- [6] Naciones Unidas, “La Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe,” 2018. [Online]. Available: www.issuu.com/publicacionescepal/stacks
- [7] Project Management Latin America, “Design thinking guía esencial para comprender e implementar,” 2022.
- [8] C. Heins and G. Grunwald, “BIM and IPA - Excerpt of an automated assessment system for an autodidactic teaching concept,” Jun. 2024. doi: 10.22260/ISARC2024/0108.
- [9] S. Tanudjaja and B. H. Simamora, “Business process improvement (BPI) for evaluation and improvement of business processes,” *International Journal of Analysis and Applications*, vol. 23, 2025, doi: 10.28924/2291-8639-23-2025-20.
- [10] F. Alkhabbas, H. Munir, R. Spalazzese, and P. Davidsson, “Quality characteristics in IoT systems: learnings from an industry multi case study,” *Discover Internet of Things*, vol. 5, no. 1, p. 13, Feb. 2025, doi: 10.1007/s43926-025-00094-9.

- [11] Y. Cao and F. Q. A. Alyousuf, "A new framework to assess the impact of new IT-based technologies on the success of quality management system," *J Big Data*, vol. 12, no. 1, p. 8, Jan. 2025, doi: 10.1186/s40537-025-01061-5.
- [12] David. Hanes, *IoT fundamentals : networking technologies, protocols, and use cases for the Internet of Things*. Cisco Press, 2017.
- [13] R. Casadei, F. Fornari, S. Mariani, and C. Savaglio, "Programming IoT systems: A focused conceptual framework and survey of approaches," *Internet of Things*, vol. 31, p. 101548, May 2025, doi: 10.1016/j.iot.2025.101548.
- [14] A. Hassan, N. Nizam-Uddin, A. Quddus, S. R. Hassan, A. U. Rehman, and S. Bharany, "Navigating IoT security: Insights into architecture, key security features, attacks, current challenges and AI-Driven solutions shaping the future of connectivity," *Computers, Materials & Continua*, vol. 81, no. 3, pp. 3499–3559, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.057877.
- [15] Z. Li, P. Zheng, and Y. Tian, "Application of IoT and blockchain technology in the integration of innovation and industrial chains in high-tech manufacturing," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 119, pp. 465–477, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.aej.2025.01.020.
- [16] F. J. Ávila-Camacho and L. M. Moreno-Villalba, "Internet de las Cosas (IoT) retos para las empresas en la era de la Industria 4.0," *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 10, no. 20, pp. 10–16, Jan. 2023, doi: 10.29057/icbi.v10i20.9516.
- [17] S. R. Tatiparthi *et al.*, "Real-Time detection of sewer water levels and blockages using UHF-RFID sensors," *Water Res*, vol. 278, p. 123380, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.watres.2025.123380.
- [18] K.-Y. Tsai, Y.-L. Wei, and P.-S. Chi, "Lightweight privacy-protection RFID protocol for IoT environment," *Internet of Things*, vol. 30, p. 101490, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.iot.2025.101490.
- [19] K. Crooks and A. Haddud, "Using radio frequency identification (RFID) technology in the pharmaceutical supply chain: The impact on competitive advantage," *Sustainability*, vol. 17, no. 4, p. 1378, Feb. 2025, doi: 10.3390/su17041378.
- [20] C. Bajaj, S. Kumar, D. Kumar Upadhyay, B. Kumar Kanaujia, D. Gupta, and T. Ali, "Modern RFID reader antennas: A review of the design, State-of-the-Art, and research

- challenges,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 16427–16443, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3524387.
- [21] A. R. Diaz De Jesus *et al.*, “Leveraging radiofrequency identification success beyond hazardous material inventory Management at a national laboratory,” *ACS Chemical Health & Safety*, vol. 32, no. 1, pp. 30–38, Jan. 2025, doi: 10.1021/acs.chas.4c00104.
- [22] S. López-Soriano, P. Brunet, M. A. Alsultan, and J. Melià-Seguí, “Remote identification of liquids using absorbent materials: A passive UHF RFID-Based method,” *IEEE Sens J*, vol. 25, no. 4, pp. 7301–7309, Feb. 2025, doi: 10.1109/JSEN.2024.3524909.
- [23] V. Choudhary, P. Guha, G. Pau, and S. Mishra, “An overview of smart agriculture using internet of things (IoT) and web services,” *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 26, p. 100607, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.indic.2025.100607.
- [24] M. Malik, A. Kothari, and R. Pandhare, “Scalability analysis of LoRa and Sigfox in congested environment and calculation of optimum number of nodes,” *Sensors*, vol. 24, no. 20, p. 6673, Oct. 2024, doi: 10.3390/s24206673.
- [25] F. Pitu and N. C. Gaitan, “Implementing a Wide-Area network and low power solution using Long-Range Wide-Area network technology,” *Technologies (Basel)*, vol. 13, no. 1, p. 36, Jan. 2025, doi: 10.3390/technologies13010036.
- [26] V. Iordache *et al.*, “Integrating connected vehicles into IoT ecosystems: A comparative study of low-Power, long-Range communication Technologies,” *Sensors*, vol. 24, no. 23, p. 7607, Nov. 2024, doi: 10.3390/s24237607.
- [27] E. Cando, “Sistema de comunicación IoT para el rastreo y localización de niños con tecnología Sigfox para la ciudad de Ambato, Ecuador.,” 2024.
- [28] L. M. Pires and J. Gomes, “River water quality monitoring using LoRa-Based IoT,” *Designs (Basel)*, vol. 8, no. 6, Dec. 2024, doi: 10.3390/designs8060127.
- [29] I. R. Nugraha, W. H. N. Putra, and E. Setiawan, “A comparative study of HTTP and MQTT for IoT applications in hydroponics,” *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 8, no. 1, pp. 119–126, Feb. 2024, doi: 10.29207/resti.v8i1.5561.
- [30] S. Hong, S. Park, H. Youn, J. Lee, and S. Kwon, “Implementation of smart farm systems based on fog computing in artificial intelligence of things environments,” *Sensors*, vol. 24, no. 20, p. 6689, Oct. 2024, doi: 10.3390/s24206689.

- [31] Sunardi, A. Yudhana, and Furizal, "Tsukamoto fuzzy inference system on Internet of Things-Based for room temperature and humidity control," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 6209–6227, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3236183.
- [32] F. Iqbal *et al.*, "BIM-IoT integration for remote real-time concrete compressive strength monitoring," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 7, p. 102863, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.asej.2024.102863.
- [33] H. Ali, H. H. Naing, and R. Yaqub, "An IoT assisted Real-Time high CMRR wireless ambulatory ECG monitoring system with arrhythmia detection," *electronics (Basel)*, vol. 10, no. 16, p. 1871, Aug. 2021, doi: 10.3390/electronics10161871.
- [34] W.-T. Sung, I. Griha Tofik Isa, and S.-J. Hsiao, "An IoT-Based aquaculture monitoring system using firebase," *Computers, Materials & Continua*, vol. 76, no. 2, pp. 2179–2200, 2023, doi: 10.32604/cmc.2023.041022.
- [35] H. Y. Pradika Napitupulu and G. D. Nugraha, "Fog Computing-Based system for decentralized smart parking system by using firebase," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 13, no. 1, pp. 44–52, Feb. 2024, doi: 10.22146/jnteti.v13i1.10095.
- [36] S.-S. Salazar Del Pozo, F. Carlosama Morejón, K. Freire Quintanilla, H. Grefa Shiguango, and M. Simbaña Tasiguano, "Innovative approaches to geoscientific outreach in the Napo sumaco sspring UNESCO global geopark, ecuadorian amazon region," *Geosciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 2, 2025, doi: 10.3390/geosciences15020043.
- [37] Marijan Zrins, "FlutterFlow i supabase tehnologije," Oct. 2024. [Online]. Available: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:289:352896>
- [38] T. Covrig *et al.*, "System for the acquisition and monitoring of energy consumption in the context of Industry 4.0," *Sensors*, vol. 24, no. 19, 2024, doi: 10.3390/s24196302.
- [39] J. K. Adarsh, V. T. Sreedevi, and D. Thangavelusamy, "Product review system with BERT for sentiment analysis and implementation of administrative privileges on Node-RED," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 65968–65976, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3275738.
- [40] S. Tomažič, I. Škrjanc, G. Andonovski, and V. Logar, "The development of simulation and optimisation tools with an intuitive user interface to improve the operation of

- electric arc furnaces,” *Machines*, vol. 12, no. 8, 2024, doi: 10.3390/machines12080508.
- [41] J. A. Romero Paguay, D. Sancho Aguilera, A. V. Inca Guamán, and M. del C. Loján Carrión, “Implementación de sistema solar fotovoltaico: evaluación de sostenibilidad y eficiencia energética,” *Revista Veritas de Difusão Científica*, vol. 5, no. 2, pp. 1745–1767, Sep. 2024, doi: 10.61616/rvdc.v5i2.171.
- [42] B. F. Chere-Quiñónez, R. C. Ulloa-de Souza, and L. J. Reyna-Tenorio, “Tecnología en iluminación domiciliaria: paneles fotovoltaicos y energía ecológica,” *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 3, no. 7, pp. 111–123, Oct. 2022, doi: 10.51798/sijis.v3i7.519.
- [43] E. R. Villamarín-Tapia, J. A. Pérez-Rodríguez, and C. G. Rodríguez-Borges, “Solar panels as an energy saving alternative in the Monteverde maritime dock, Santa Elena, Ecuador,” *Sapienza*, vol. 4, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.51798/sijis.v4i1.623.
- [44] S. Park, S. Lee, S. Park, and S. Park, “AI-Based physical and virtual platform with 5-Layered architecture for sustainable Smart Energy City Development,” *Sustainability*, vol. 11, no. 16, p. 4479, Aug. 2019, doi: 10.3390/su11164479.
- [45] J. Oakman, S. Clune, and V. P. Weale, “Financial evaluation of interventions to reduce musculoskeletal disorder risk: A scoping review,” *Saf Sci*, vol. 186, p. 106816, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.ssci.2025.106816.
- [46] Y. Thoppil and S. H. Zein, “Techno-economic analysis and feasibility of industrial-scale biodiesel production from spent coffee grounds,” *J Clean Prod*, vol. 307, p. 127113, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127113.
- [47] A. López and M. Ríos, “Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua,” 2023.

7. Anexos

Anexo I. Reuniones con los miembros de la cooperativa



Figura I.1. Exposición de los objetivos y alcances de la tesis ante el personal de la cooperativa



Figura I.2. Socialización de propuestas y posibles soluciones tecnológicas



Figura I.3. Demostración práctica del uso del sistema IoT

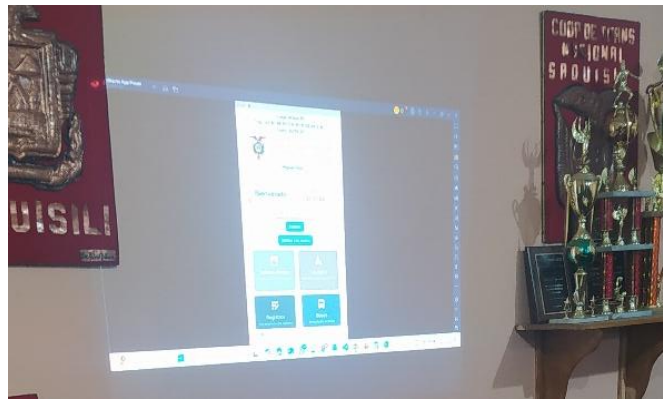


Figura I.4. Aprobación del modelo con las observaciones

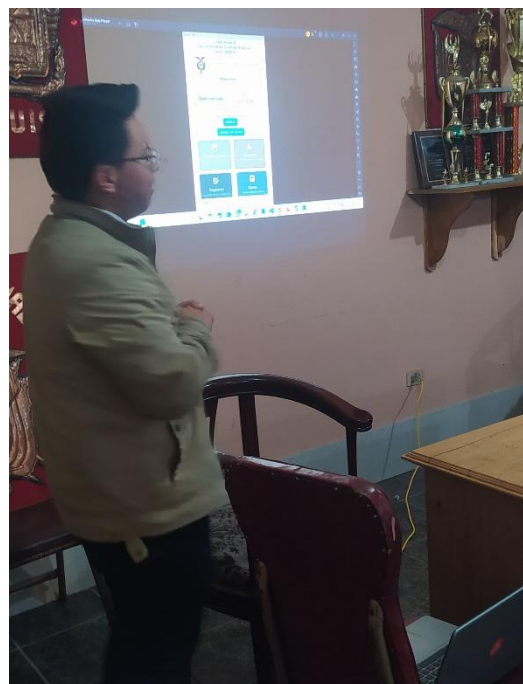


Figura I.5. Capacitación de la app a los miembros la cooperativa "Nacional Saquisilí"



Figura I.6. Capacitación individual de la app a los miembros la cooperativa "Nacional Saquisilí"



Figura I.7. Sugerencias de los usuarios del sistema



Figura I.8. Exposición de los logros, impactos y beneficios del proyecto para la cooperativa



Figura I.9. Reunión final con el equipo de la cooperativa para agradecer el apoyo brindado

Anexo II. Certificado de funcionamiento del sistema

Latacunga, 23 de octubre de 2025

Señor
Edison Mena
Presidente
Cooperativa de Transportes "Nacional Saquisilí"
Presente.-

De mi consideración:

Por medio de la presente, me permito hacer la entrega oficial de la aplicación móvil desarrollada en el marco del proyecto de titulación: "Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte", cuyo objetivo principal es digitalizar la tarjeta de control y optimizar la gestión de tiempos en la ruta Latacunga-Saquisilí.

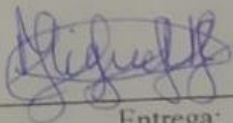
La aplicación móvil, queda a disposición de la Cooperativa de Transportes "Nacional Saquisilí" para su uso y administración, conforme a los lineamientos establecidos durante el desarrollo del proyecto.

Adjunto a este oficio se entrega:

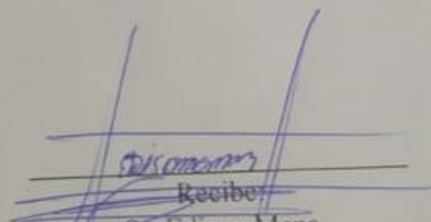
- Documento del manual de usuario , que contiene la orientación técnica para el uso de la aplicación móvil..
- Aplicación móvil en APK.

Agradezco la colaboración brindada por la cooperativa durante la ejecución del proyecto.

Atentamente,



Entrega:
Ing. Miguel Ángel Ríos Guiracocha
Estudiante de posgrados
Universidad Técnica de Cotopaxi



Recibe:
Sr. Edison Mena
Presidente de la cooperativa de
Transportes "Nacional Saquisilí"

Anexo II. Certificado de funcionamiento del sistema

Latacunga, 23 de octubre de 2025

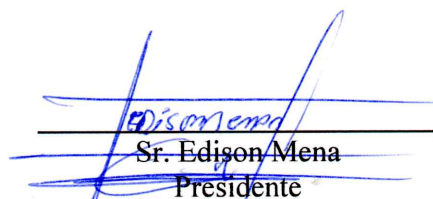
A quien corresponda:

Por medio del presente **certifico** que el **sistema IoT para la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte**, desarrollado en el marco del proyecto: **“Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte”**, ha estado en funcionamiento continuo durante tres (3) meses, sin presentar fallos en su operación. El sistema ha cumplido con los objetivos planteados, garantizando la **digitalización de la tarjeta de control**, la **reducción de errores** en la ruta Latacunga–Saquisilí.

Este resultado confirma la **viabilidad técnica y económica** de la solución implementada, contribuyendo significativamente a la modernización del proceso interno de la cooperativa.

Para constancia de lo mencionado, suscribo el presente documento.

Atentamente,



Sr. Edison Mena
Presidente
Cooperativa de Transportes
“Nacional Saquisilí”

Anexo III. Entrega de aplicación y manual.

Latacunga, 23 de octubre de 2025

Señor
Edison Mena
Presidente
Cooperativa de Transportes "Nacional Saquisilí"
Presente.-

De mi consideración:

Por medio de la presente, me permito hacer la entrega oficial de la aplicación móvil desarrollada en el marco del proyecto de titulación: **"Estudio de aplicabilidad del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la gestión de tiempos en rutas de transporte"**, cuyo objetivo principal es digitalizar la tarjeta de control y optimizar la gestión de tiempos en la ruta Latacunga-Saquisilí.

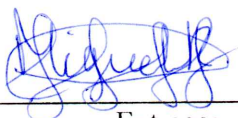
La aplicación móvil, queda a disposición de la **Cooperativa de Transportes "Nacional Saquisilí"** para su uso y administración, conforme a los lineamientos establecidos durante el desarrollo del proyecto.

Adjunto a este oficio se entrega:

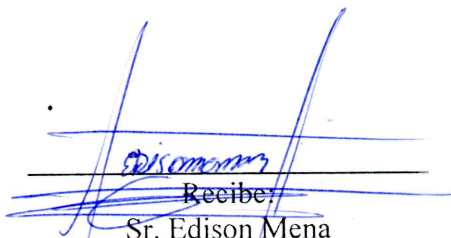
- **Documento del manual de usuario**, que contiene la orientación técnica para el uso de la aplicación móvil..
- **Aplicación móvil en APK.**

Agradezco la colaboración brindada por la cooperativa durante la ejecución del proyecto.

Atentamente,



Entrega:
Ing. Miguel Ángel Ríos Guiracocha
Estudiante de posgrados
Universidad Técnica de Cotopaxi



Recibe:
Sr. Edison Mena
Presidente de la cooperativa de
Transportes "Nacional Saquisilí"

Manual de Usuario

Aplicación móvil de gestión de tiempos – Cooperativa de Transportes “Nacional Saquisilí”

Contenido

1. Inicio de sesión y Página principal (Home)	3
2. Área de usuario y Salidas diarias	4
3. Registro de salidas	4
4. Administración → Usuarios.....	7
5. Administración → Buses	10
6. Valores pagados (referencia)	11
7. Roles y permisos (detalle técnico)	11
8. Preguntas frecuentes	12
9. Buenas prácticas	12

1. Iniciar de sesión y a la Página principal (Home) de la app.

- a) Abre la aplicación e ingresa tu **correo y contraseña** en la ventana que aparece en la Figura 1, además cada usuario sea, socio, chofer, y editor tiene su cuenta propia. Excepto los ayudantes, que manejan una cuenta común.

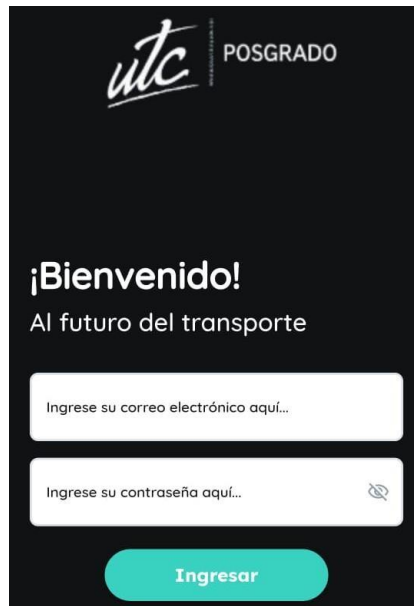


Figura 1. Pantalla de Login

- b) Al autenticarte, accederás al **Home** (ver Figura 2), donde verás accesos a **Tarjeta** digital y Salidas diarias de todos los buses, dónde puedes buscar tarjetas pasadas.
- c) En el Home, utiliza la barra inferior y los accesos rápidos para navegar.

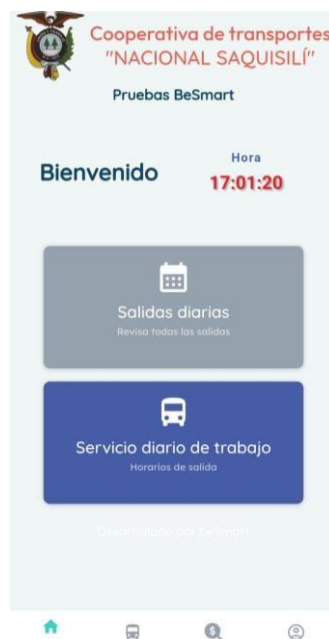


Figura 2. Pantalla principal para un usuario

2. Área de usuario

- a) Entra a Perfil de usuario para editar el perfil de usuario, ver los buses que conduces, cambiar la contraseña y cambiar a modo oscuro (ver Figura 3).

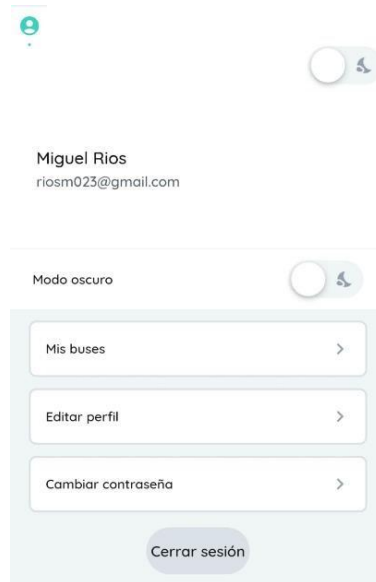


Figura 3. Perfil de usuario y opciones generales

- b) Al querer editar el perfil de usuario puede editar Nombre, correo electrónico, número telefónico, cédula de identidad y detalles personales.

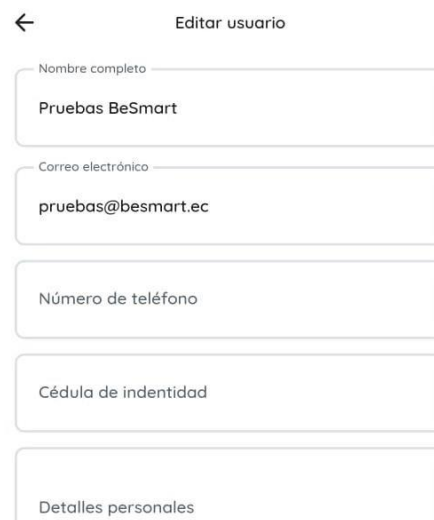


Figura 4. Parámetros del Usuario

- c) Para cambiar la contraseña, obligatoriamente necesitas el correo, ya que ahí llega un mensaje de verificación y proceder a cambiar la contraseña.

3. Registro de salidas

En la cooperativa de transporte “Nacional Saquisilí” existen dos rutas que requieren control, tal como se muestra en la Figura 5. Cada ruta tiene un flujo específico para el registro de salidas:



Figura 5. Seleccionar ruta de viaje

Caso A: Latacunga → Saquisilí

- a) Luego escoge el bus que estás conduciendo. (ver Figura 6)

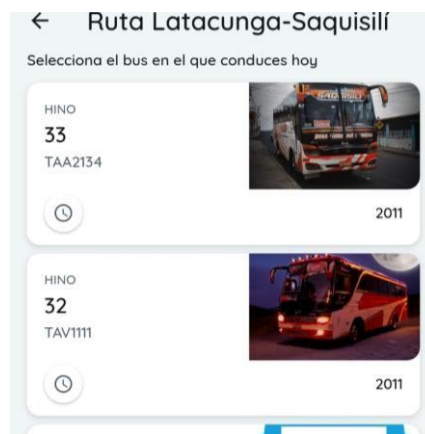


Figura 6. Seleccionar bus para revisión de tarjeta digital.

- b) Para registrar la salida debe pulsar en la parte inferior derecha de la pantalla de la Figura 7 en el botón con símbolo de suma .

← **SERVICIO DIARIO DE TRABAJO**

Cooperativa de transportes "NACIONAL SAQUISILÍ"

Unidad N°: 33 Fecha: jue, 23 oct

Latacunga		Saquisilí	
Estado	Hora de salida	Duración	Segunda Picada
✓	7:35	0	7:59
✓	9:15	0	9:35
✓	11:06	0	11:31
✓	13:06	0	13:30
✓	15:10	0	15:34

+

Figura 7. Tarjeta digital

c) En la Figura 8 se elige la Hora de salida y bus de la lista.

📅 Seleccionar fecha: 22/10/2025

Selecciona una hora ▼

Selecciona un bus ▼

Registrar salida

Figura 8. Registro de la salida del terminal de Latacunga

d) Registra salida y la estación RFID registrará automáticamente tu paso por el punto de control.

Confirmar salida

¿Deseas registrar la salida del Bus 5 a las 06:36:00 del día 24/10/2025?

Cancelar **Confirmar**

Figura 9. Confirmación del registro

e) En la Figura 9 se debe revisar si la salida registrada es correcta.



Figura 10. Registro del bus anterior

- f) La ventana emergente de la Figura 10 aparecerá si el bus que salió antes no ha registrado su salida.

Caso B: Modo Feriado

- a) Si no hay los buses suficientes para mantener las frecuencias predefinidas, usa el selector tipo “alarma” (habilitado con **Modo feriado**).



Figura 11. Activación del Modo feriado (selector de hora libre)

- b) En escenarios especiales (feriados u operativos), la Directiva puede activar el **Modo feriado** (ver Figura 11); registra la **hora real de salida** como colocar una alarma.

4. Administración → Usuarios

- a) Ingresa a **Administración → Usuarios** para gestionar cuentas (ver Figura 12).



Figura 12. Ventana principal para administración

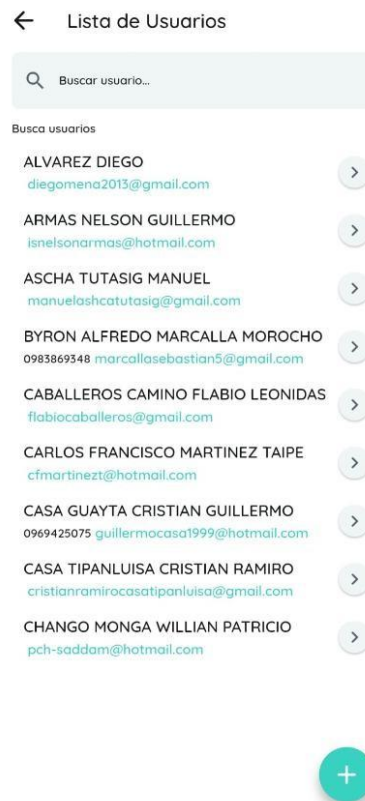


Figura 13. Listado de usuarios (búsqueda y selección)

- b) Para crear un usuario se debe pulsar el símbolo  de la Figura 13 y solo se puede con un rol de usuario administrador. Existe un límite de usuarios de 50 Usuarios, así que se debe eliminar un usuario de algún socio que haya salido de la cooperativa o editarlo.

Figura 14. Creación de usuario

- a) Posterior a ello completa nombre, correo, cédula y teléfono; asigna rol mínimo necesario y guarda (ver Figura 14).

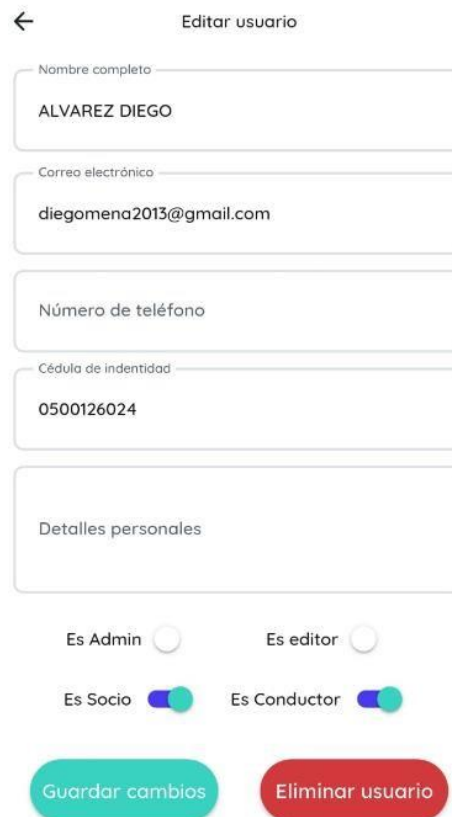


Figura 15. Edición de usuario (actualización de datos y rol)

- b) **Restablecer contraseña:** usa la opción correspondiente; el sistema enviará un enlace seguro al correo asociado (ver Figura 16).



Figura 16. Cambio de contraseña

- c) **Cambiar correo:** edita el campo de correo y guarda; el usuario deberá autenticarse nuevamente en el siguiente inicio de sesión.
- d) **Eliminar Usuario:** Para eliminar Usuario se tiene que ingresar a la cuenta de Usuario y seleccionar  .

5. Administración → Buses

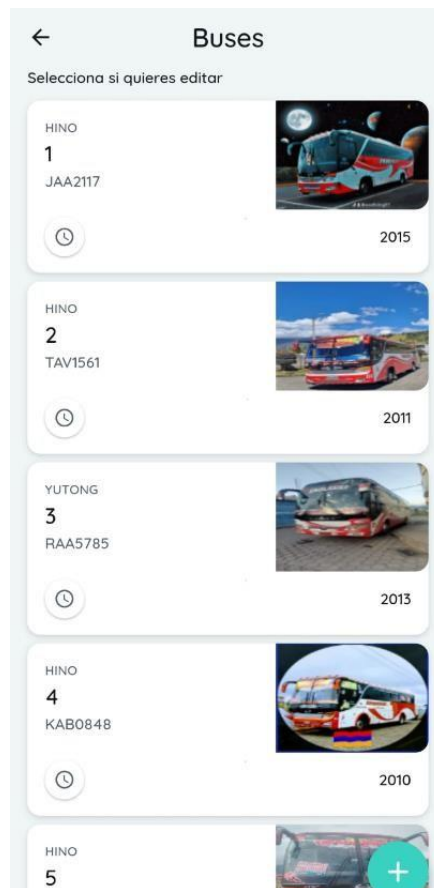


Figura 17. Gestión de buses (alta, edición y asignación)

- Accede a **Administración** → **Buses** (ver Figura 17).
- Verifica placa, número de unidad y estado. Actualiza y guarda para mantener la flota sincronizada.

6. Valores pagados



Figura 18. Vista de valores pagados.

- a) Usa esta vista (ver Figura 18) como referencia de los costos por pasar minutos en cada salida durante un tiempo determinador.

7. Roles y permisos (detalle técnico)

- **Administrador** (Admin): control total de configuración, usuarios, rutas y reportes. Aplica políticas y corrige datos críticos.
- **Secretaría/Operación**: monitorea salidas y llegadas, revisa registros RFID, corrige número de bus en salidas cuando corresponda.
- **Socio**: activa Modo feriado, valida salidas especiales y supervisa operación. Interviene en casos excepcionales.
- **Chofer/Socio**: registra salidas, consulta tarjeta digital y atiende observaciones de operación.
- **Ayudante: mínimo privilegio**. Cada rol accede solo a lo necesario, reduciendo superficie de riesgo y garantizando trazabilidad.

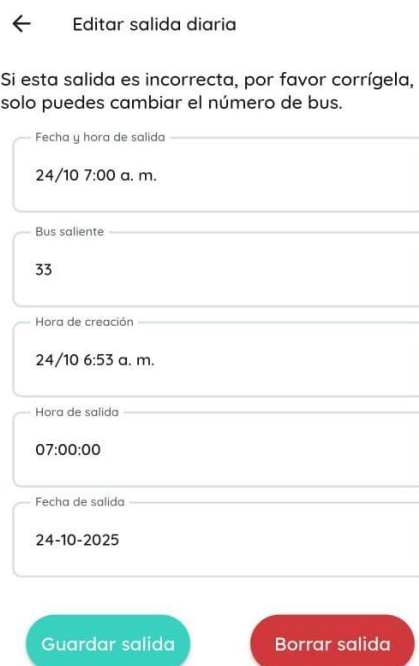
8. Preguntas frecuentes (FAQ)

- **¿Necesito internet durante el recorrido?**

Para usar la app, sí. El registro del paso por la estación es autónomo y se transmite desde el gateway.

- **Me equivoqué de unidad al registrar la salida.**

En la tarjeta diaria de trabajo, cuando la salida se encuentra con el ícono amarillo, se puede seleccionar y saldrá la página para editar la salida como se observa en la Figura 19.



← Editar salida diaria

Si esta salida es incorrecta, por favor corrígela, solo puedes cambiar el número de bus.

Fecha y hora de salida
24/10 7:00 a. m.

Bus saliente
33

Hora de creación
24/10 6:53 a. m.

Hora de salida
07:00:00

Fecha de salida
24-10-2025

Guardar salida Borrar salida

Figura 19. Editar salida incorrecta

En esta pantalla solo puedes modificar el bus saliente, si el error fue al seleccionar la hora de salida, por favor coloca el bus que salió a esa hora, si no es así borra la salida y vuelve a registrar.

Solicita a Secretaría que corrija el número de bus; fecha y hora permanecen protegidas.

- **La tarjeta digital no muestra mi llegada.**

Espera sincronización; si persiste, Secretaría puede revisar los registros RFID en la computadora.

9. Buenas prácticas

- a) Si es posible abre tu aplicación antes de ingresar al andén.
- b) Registra la salida cuando estés listo para partir; evita cambios posteriores.
- c) Verifica **unidad** y **ruta** antes de confirmar.
- d) No compartas credenciales ni enlaces de restablecimiento.
- e) Mantén actualizados los datos de usuarios y buses.

Anexo V. Modelo en Excel para la optimización

Variables

Estaciones RFID	2
Tags RFID	84
Servidores	1
Gateways	1
Aplicación móvil	1
Repetidor	1
Costo total (objetivo a minimizar)	\$7.359,50

Parámetros / Costos

Costo Estación	\$2.409,50
Costo Tag	\$1,50
Costo Servidor	\$360,00
Costo Gateway	\$309,50
Aplicación	\$1.500,00
Repetidor	\$245,00
Presupuesto máximo	8000
Número mínimo estaciones	2
Número mínimo tags	84
Número mínimo servidores	1
Número mínimo gateways	1
Número mínimo Aplicación móvil	1
Número mínimo Repetidor	1

Chequeo de restricciones

Presupuesto: Costo total $\leq$ Presupuesto	OK
Estaciones: B2 $\geq$ C18	OK
Tags: B3 $\geq$ C19	OK
Aplicación: B6 $\geq$ C22	OK
Repetidor: B7 $\geq$ C23	OK
Servidores: B4 $\geq$ C20	OK
Gateways: B5 $\geq$ C21	OK

Anexo VI. Hoja de datos de la placa Heltec wifi LoRa 32 v3



HTIT-WB32LA V3

LoRa Node Development Kit



<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 1/15

Sep, 2022

Heltec Automation © Limited standard files



Document version

Version	Time	Description	Remark
V1.0	2022-08-16	Documents creating	肖鸿
V1.1	2022-09-21	Document structure update	Aaron

<https://heltec.org>

Documents | Rev 1.1 | P 2/15 | Sep. 2022 | HelTec Automation © Limited standard files



Copyright Notice

All contents in the files are protected by copyright law, and all copyrights are reserved by Chengdu Heltec Automation Technology Co., Ltd. (hereinafter referred to as Heltec). Without written permission, all commercial use of the files from Heltec are forbidden, such as copy, distribute, reproduce the files, etc., but non-commercial purpose, downloaded or printed by individual are welcome.

Disclaimer

Chengdu Heltec Automation Technology Co., Ltd. reserves the right to change, modify or improve the document and product described herein. Its contents are subject to change without notice. These instructions are intended for you use.

<https://heltec.org>



Content

HTIT-WB32LA_V3	1
Document version	2
Copyright Notice	3
Disclaimer.....	3
Content.....	4
1. Description	5
1.1 Overview	5
1.2 Product features.....	6
2. Pin Definition	7
2.1 Pin assignment.....	7
2.2 Pin description	8
3. Specifications	10
3.1 General specifications.....	10
3.2 Power supply.....	11
3.3 Power output	11
3.4 Power characteristics	11
3.5 LoRa RF characteristics.....	12
3.5.1 Transmit power	12
3.5.2 Receiving sensitivity.....	12
3.6 Operation Frequencies.....	13
4. Hardware resource.....	14
4.1 Physical dimensions	14
5. Resource.....	15
5.1 Relevant Resource.....	15
5.2 Contact Information.....	15



1. Description

1.1 Overview

WiFi LoRa 32 is a classic IoT dev-board designed & produced by Heltec Automation. Since its launch in 2017, it has been loved by developers and makers. The newly launched V3 version has the same pin sequence as the V2 version, and retains Wi-Fi, BLE, LoRa, OLED display and other functions. On this basis, the V3 version has been upgraded as follows:

Table 1.1-1: Version comparison

	WiFi LoRa 32 (V2)	WiFi LoRa 32 (V3)
MCU	ESP32-D0	ESP32-S3
LoRa Chip	SX1276	SX1262
USB Socket	Micro USB	Type C
Crystal Oscillator	Ordinary crystal oscillator	High precision temperature compensated crystal oscillator
Low power features in deep sleep	800uA	<10uA
Other		Better impedance matching of RF circuits.

WiFi LoRa 32 are available in two product variants:

Table 1.1-2: Product model list

No.	Model	Description
1	HTIT-WB32LAF	470~510MHz working LoRa frequency, used for

<https://heltec.org>



		China mainland (CN470) LPW band.
2	HTIT-WB32LA	For EU868, IN865, US915, AU915, AS923, KR920 and other LPW networks with operating frequencies between 863~928MHz.

1.2 Product features

- Microprocessor: ESP32-S3FN8 (Xtensa® 32-bit LX7 dual core processor, five stage pipeline rack Structure, main frequency up to 240 MHz).
- SX1262 LoRa node chip.
- Type-C USB interface with a complete voltage regulator, ESD protection, short circuit protection, RF shielding, and other protection measures.
- Onboard SH1.25-2 battery interface, integrated lithium battery management system (charge and discharge management, overcharge protection, battery power detection, USB / battery power automatic switching).
- Integrated WiFi, LoRa, Bluetooth three network connections, onboard Wi-Fi, Bluetooth dedicated 2.4GHz metal spring antenna, reserved IPEX (U.FL) interface for LoRa use.
- Onboard 0.96-inch 128*64 dot matrix OLED display, which can be used to display debugging information, battery power, and other information.
- Integrated CP2102 USB to serial port chip, convenient for program downloading, debugging information printing.
- Support the [Arduino development environment](#).
- We provide [ESP32 + LoRaWAN](#) protocol Arduino® library, this is a standard

<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 6/15

Sep. 2022

HelTec Automation © Limited standard files



LoRaWAN protocol that can communicate with any LoRa gateway running the

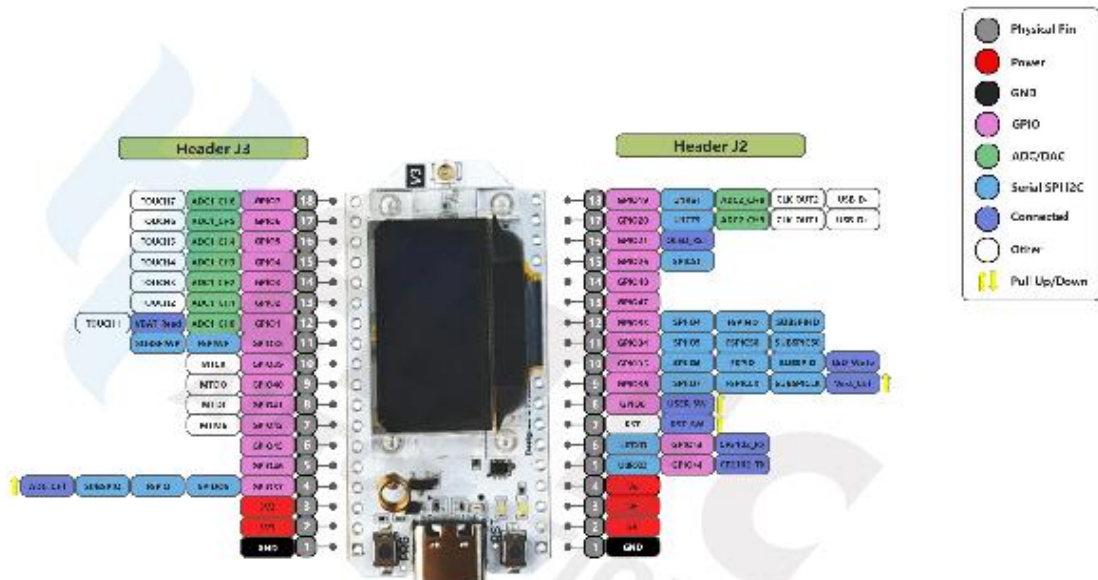
LoRaWAN protocol. In order to make this code running, a unique license is needed.

it can be found on [this page](#):

- With good RF circuit design and low-power design.

2. Pin Definition

2.1 Pin assignment





2.2 Pin description

● Header J2

Table 2.2-1: Pin description

No.	Name	Type	Function
1	GND	P	Ground.
2	5V	P	5V Power Supply.
3	Ve	P	Output 3.3V, power supply for external sensor.
4	Ve	P	Output 3.3V, power supply for external sensor.
5	RX	I/O	GPIO44, U0RXD, connected to CP2102 TXD
6	TX	I/O	GPIO43, U0RXD, connected to CP2102 RXD
7	RST	I	CHIP_PU, connected to RST switch
8	0	I/O	GPIO0, connect to PRG switch
9	36	I/O	GPIO36, SPIIO7, FSPICK, SUBSPICK, Vext Ctrl
10	35	I/O	GPIO35, SPIIO6, FSPID, SUBSPID, LED Write Ctrl
11	34	I/O	GPIO34, SPIIO5, FSPICS0, SUBSPICS0.
12	33	I/O	GPIO33, SPIIO4, FSPICHD, SUBSPICHD.
13	47	I/O	GPIO47, SPICK_P_DIFF, SUBSPICK_P_DIFF.
14	48	I/O	GPIO48, SPICK_N_DIFF, SUBSPICK_N_DIFF.
15	26	I/O	GPIO26, SPICS1.
16	21	I/O	GPIO21, OLED RST
17	20	I/O	GPIO20, U1CTS, ADC2_CH9, CLK_OUT1, USB_D+ ¹ .

¹ DP pin connectable to USB socket, solder R29



18	19	I/O	GPIO19, U1RTS, ADC2_CH8, CLK_OUT2, USB_D ² .
----	----	-----	---

Header J3

Table 2.2-2: Pin description

No.	Name	Type	Function
1	GND	P	Ground.
2	3V3	P	3.3V Power Supply.
3	3V3	P	3.3V Power Supply.
4	37	I/O	GPIO37, SPIDQS, FSPIQ, SUBSPIQ.
5	46	I/O	GPIO46.
6	45	I/O	GPIO45.
7	42	I/O	GPIO42, MTMS.
8	41	I/O	GPIO41, MTDI.
9	40	I/O	GPIO40, MTDO.
10	39	I/O	GPIO39, MTCK.
11	38	I/O	GPIO38, FSPWP, SUBSPWP.
12	1	I/O	GPIO1, ADC1_CH0 ³ , TOUCH1, Read VBAT Voltage
13	2	I/O	GPIO2, ADC1_CH1, TOUCH2.
14	3	I/O	GPIO3, ADC1_CH2, TOUCH3.
15	4	I/O	GPIO4, ADC1_CH3, TOUCH4.
16	5	I/O	GPIO5, ADC1_CH4, TOUCH5.

² DN pin connectable to USB socket, solder R3

³ ADC1_CH0 is used to read the lithium battery voltage, the voltage of the lithium battery is:

$$VADC_IN1 = 100 / (100+390) * VBAT$$

<https://heltec.org>



17	6	I/O	GPIO6, ADC1_CH5, TOUCH6.
18	7	I/O	GPIO7, ADC1_CH6, TOUCH7.

3. Specifications

3.1 General specifications

Table 3.1: General specifications

Parameters	Description
Master Chip	ESP32-S3FN8 (Xtensa®32-bit lx7 dual core processor)
LoRa Chipset	SX1262
USB to Serial Chip	CP2102
Frequency	470~510 MHz, 863~928 MHz
Max. TX Power	21 ± 1 dBm
Max. Receiving sensitivity	-134 dBm
Wi-Fi	802.11 b/g/n, up to 150Mbps
Bluetooth	Bluetooth LE: Bluetooth 5, Bluetooth mesh
Hardware Resource	7*ADC1 + 2*ADC2; 7*Touch; 3*UART; 2*I2C; 2*SPI; etc.
Memory	384KB ROM; 512KB SRAM; 16KB RTC SRAM; 8MB SiP Flash
Interface	Type-C USB; 2*1.25 lithium battery interface; LoRa ANT(IPEX1.0); 2*18*2.54 Header Pin
Battery	3.7V lithium battery power supply and charging
Operating temperature	-20 ~ 70 °C
Dimensions	50.2 * 25.5* 10.2 mm

<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 10/15

Sep. 2022

HelTec Automation © Limited standard files



3.2 Power supply

Except when USB or 5V Pin is connected separately, lithium battery can be connected to charge it. In other cases, only a single power supply can be connected.

Table 3.2: Power supply

Power supply mode	Minimum	Typical	Maximum	Company
Type-C USB($\geq 500\text{mA}$)	4.7	5	6	V
Lithium battery($\geq 250\text{mA}$)	3.3	3.7	4.2	V
5V pin($\geq 500\text{mA}$)	4.7	5	6	V
3V3 pin($\geq 150\text{mA}$)	2.7	3.3	3.5	V

3.3 Power output

Table 3.3: Power output

Output Pin	Minimum	Typical	Maximum	Company
3.3V Pin			500	mA
5V Pin (USB Powered only)			500	mA
Vext Pin			350	mA

3.4 Power characteristics

Table 3.4: Power characteristics

Mode	Condition	Min.	Typical	Max.	Company
WiFi Scan	USB powered		115		mA
WiFi AP	USB powered		150		mA
BT	USB powered		115		mA



TX	14dBm, USB powered, 868		200		mA
	17dBm, USB powered, 868		210		mA
	22dBm, USB powered, 868		230		mA
RX	TX disabled; RX enabled		90		mA
sleep	USB powered		2		mA
	VBAT/battery powered		15		uA
	3.3V header powered		10		uA

3.5 LoRa RF characteristics

3.5.1 Transmit power

Table3.5.1: Transmit power

Operating frequency band	Maximum power value/[dBm]
470~510	21 ± 1
867~870	21 ± 1
902~928	21 ± 1

3.5.2 Receiving sensitivity

The following table gives typically sensitivity level of the HTIT-WB32LA.

Table3.5.2: Receiving sensitivity

Signal Bandwidth/[KHz]	Spreading Factor	Sensitivity/[dBm]
125	SF12	-134
125	SF10	-130
125	SF7	-122

<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 12/15

Sep. 2022

HelTec Automation © Limited standard files



3.6 Operation Frequencies

HTIT-WB32LA supports LoRaWAN frequency channels and models corresponding table.

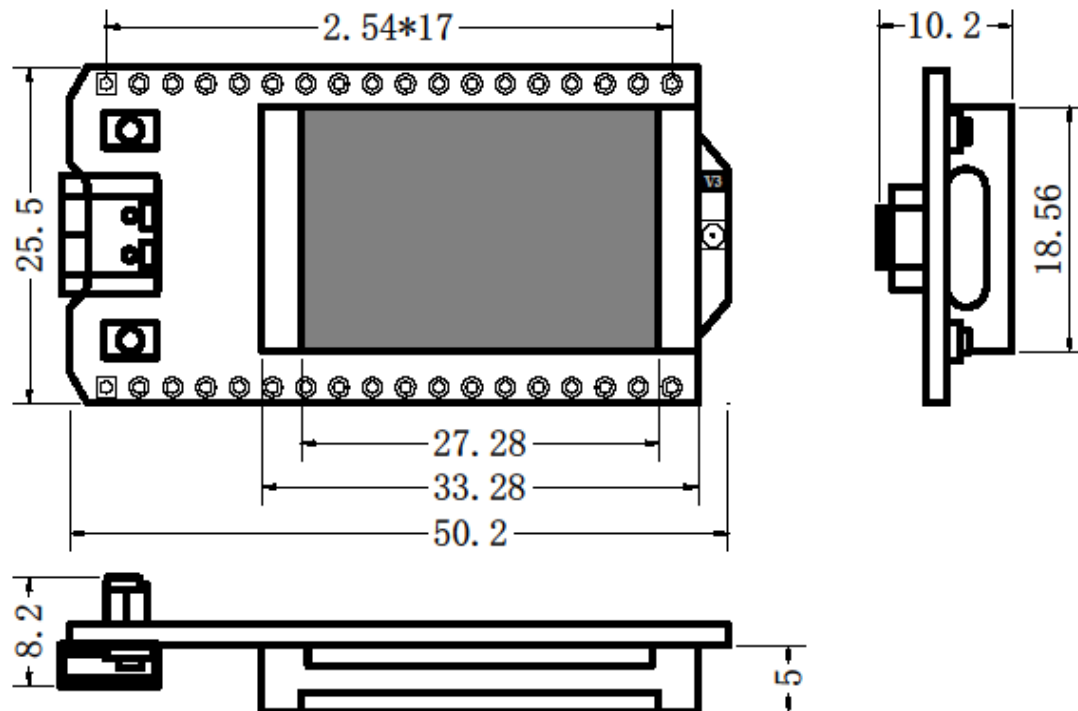
Table3.6: Operation Frequencies

Region	Frequency (MHz)	Model
EU433	433.175~434.665	HTIT-WB32LAF
CN470	470~510	HTIT-WB32LAF
IN868	865~867	HTIT-WB32LA
EU868	863~870	HTIT-WB32LA
US915	902~928	HTIT-WB32LA
AU915	915~928	HTIT-WB32LA
KR920	920~923	HTIT-WB32LA
AS923	920~925	HTIT-WB32LA



4. Hardware resource

4.1 Physical dimensions





5. Resource

5.1 Relevant Resource

- Source Code
 - [Heltec ESP \(ESP32 & ESP8266\) framework](#) (Already included Heltec ESP32 LoRaWAN library)
 - [Heltec ESP32 library](#)
- [Schematic diagram](#)
- [Pin map](#)
- [Downloadable resource](#)

5.2 Contact Information

Heltec Automation Technology Co., Ltd

Chengdu, Sichuan, China

Email: support@heltec.cn

Phone: +86-028-62374838

<https://heltec.org>

Anexo VII. Hoja de datos del lector RFID

1 Communications protocol frame structure

This protocol is defining the data communication specification between the upper unit and Bowei smart device. Command and response data consists of a continuous stream of bytes in a packet. The length is variable and error checking is performed using the checksum method.

This protocol specifies the data frame format and interaction flow relationship, etc..The protocol is applicable to the communication between the RS-232 interface and the network TCP/IP interface.

RS-232 communication parameters:

Baud rate: 115200
Data bits: 8
Stop bit: 1
Parity check bit: None

1.1 Frame structure definition

1.1.1 Upper computer command frame structure definition

Head	Len	Address	Cmd	Data	Check
0xEA	2Byte	1Byte	1Byte	NBytes	1Byte
Parameter description	Head		packet header, each packet starts with 0xEA.		
	Len		Number of bytes in the packet starting after Len, without Len itself.		
	Address		Reader address. For use when the RS-485 interface is connected serially. General address from 0 to 254 (0xFE). 255 (0xFF) is the common address. The reader receives commands for its own address or for the common address.		
	Cmd		Command Code.		
	Data		Command Parameters.		
	Check		Checksum, the checksum of all bytes except the checksum itself.		

1.1.2 Reader return data frame structure definition

Head	Len	Address	Cmd	Data	Check
0xEA	2Byte	1Byte	1Byte	NBytes	1Byte
			Head	Packet header, each packet starts with 0xEA.	

Parameter description	Len	Number of bytes in the packet starting after Len, without Len itself.
	Address	The address of the reader itself.
	Cmd	Command Code.
	Data	The data returned by the reader.
	Check	Checksum, the checksum of all bytes except the checksum itself.

2 Instruction Set Definition

Instruction Set List

No.	Command code	Name	Description
operating command			
	0xA1	System transparent transmission command	
	0xA3	tag data upload (gate reader)	
	0xA4	tag data upload (positioning system)	
	0xA5	Alarm Information Reporting	
	0xA6	RF signal measurement information reporting	
	0x50	Setting EAS alarm parameters	
	0x51	Query EAS alarm parameters	
	0x52	Setting reader Parameters	
	0x53	Query reader parameters	
	0x55	Setting the infrared trigger delay	
	0x56	Query infrared trigger delay	
	0x57	Start/Stop manual inventory	
	0x58	Setting manual inventory parameters	
	0x59	Query manual inventory parameters	
	0x5A	Infrared trigger status upload Message	
	0x5B	Incoming and outgoing headcount status upload message	
	0x5C	Setting the headcount status parameters	
	0x5D	Query headcount status parameters	
	0x5E	Setting cache mode status	

0x5F	Query cache mode status	
0x60	Cache tag data upload message	
0x61	Setting Client Mode Parameters	
0x62	Query Client Mode Parameters	
0x63	Setting GP0 status	
0x64	Query GPI input port status	
0x65	Setting the GPI Trigger State	
0x66	Query GPI Trigger Status	
0x67	GPI triggered status reporting	
0x68	Setting infrared trigger conditions	
0x69	Query infrared trigger conditions	
0x6A	Channel Trigger Status Upload Frame	
0x6C	Setting the infrared sensor orientation parameters	
0x6D	Query Infrared Sensor Orientation Parameters	
0x6E	Setting the EAS Mask Matching Group	
0x6F	Query EAS Mask Matching Group	
0x70	boot disk storage	
0x71	Setting the inventory port flag (port)	
0x72	Query Inventory Port Flag	
0x73	Setting the IR Enable Parameter	
0x74	Get infrared enable parameters	
0x75	Switching Module Groups	
0x76	Set all indicators to flash	
0x77	Setting the specified indicator to light up	
0x78	Switching the specified port	
0x79	Inventory Designation Layer	
0x7A	Setting of layer lights (positioning system)	

	0x7C	Layer Infrared Trigger Up (Locator System)	
	0x7D	Setting indicator illuminated (positioning system)	
	0x7E	Position triggered reporting (positioning system)	
	0x7F	Query baseband version	
	0x80	Setting the device address	
	0x81	Query device address	
	0x82	Setting the light to blink	
	0x83	Check Position Status	
	0x84	Check the status of all positions	
	0x87	Setting the LED status	
	0x90	Slave client's number upload command	
	0x91	Receive operation command reported by tag (same as 0xA3)	
	0x97	phase switching	
	0x98	Phase polling completed for reporting	
	0x9B	Setting the Buzzer Volume	
	0x9C	Query Buzzer Volume	
	0xB0	Entering tags	
	0xB1	Update label alarm status	
	0xB2	Delete Tags	
	0xB3	Empty Label	
	0xB4	Setting up the MQTT server	
	0xB5	Querying the MQTT server	
	0xB6	Setting up the HTTP server	
	0xB7	Query HTTP server	
	0xB8	Setting the device number	
	0xB9	Query Device Number	

	0xBA	Setting up label filtering rules	
	0xBB	Query tag filtering rules	
	0xBC	Setting Device Auxiliary Information	
	0xBD	Query device auxiliary information	
	0xBE	Setting the Device Cascade Mode	
	0xBF	Query device cascade mode	
	0xC0	Setting the Device Lighting Mode	
	0xC1	Query device light mode	
	0xC2	Setting infrared trigger conditions	
	0xC3	Query infrared trigger conditions	
	0xC4	Setting Relay Mode	
	0xC5	Query Relay Mode	
	0xC7	Setting Intelligent Algorithm Parameters	
	0xC8	Query Smart Algorithm Parameters	
	0xC9	Setting the System Mode	
	0xCA	Query system model	
	0xCB	Query the list of tags in the device database	
	0xCC	Active reporting of equipment database tag list	
	0xF0	Reset Control Board	
	0xF1	Setting the real time	
	0xF2	Read real time	
	0xF3	Connection Confirmation	
	0xF5	Query MAC address	
	0xF6	Setting the IP address	
	0xF7	Query IP address	
	0xF8	Restore default settings	
	0xF9	Setting the Module Type	
	0xFA	Query Module Type	

	0xFB	Firmware Upgrade	
	0xFE	Check Firmware Version	
	0x40	power setting	
	0x41	Power Inquiry	
	0x42	RF Band Setting	
	0x43	RF frequency setting	
	0x44	RF Frequency Search	
	0x45	write a label	
	0x46	lock tag	
	0x47	Inactivation labels	
	0x48	transmitter carrier	
	0x49	Standing wave detection	
	0x4A	Wergen parameterization	
	0x4B	Wergen parameter query	

2.1 System Transmission Command

The system pass-through command is used to realize the data communication between the host computer and the RFID module, i.e., the host computer encapsulates the data frames to be sent to the module through the format of the protocol, which encapsulates the "module type+address number+complete data frame".

When the control board receives the pass-through command 0xA1, it decides to send the data of this number to the connected module according to the "address number". When the control board receives the complete data frame from the module, it will encapsulate the data frame into instruction 0xA1 and send it to the host computer.

2.1.1 System Transmission Command (A1)

This instruction is sent from the host computer to the control board, and the control board will send the "instruction frame" in the parameter to the corresponding module after receiving the complete data frame. This instruction is directly returned by the control board.

Upper computer command packet:

Hea	Len	Add	Cmd	parameters	Check
0xEA	0x00		0xA1	Nbyte	

Parameter	Mtype 1byte	Module type parameters: 01H: CRP, 02H: LRP, 03H:RRP, 04H:GXP
	Maddr 1byte	Module address: single-byte binary bit representing the address to be sent 80000 0000 01H stands for Send to Module 1 02H stands for Send to Module 2 03H stands for Send to Module 1 and Module 2
	Reserve 2byte	Reserve 2 bytes
	command frame Nbyte	Indicates the complete command frame to be sent to the module, including header, length, and parity bits. The control board sends this part directly to the lower module.

◆ The operation is successful:

The reader control board forwards the "command frame" to the rfid module and does not return it.

◆ Operation failed:

The read-write returns the packet:

Head	Len	Address	Cmd	ErrorCode	Check
0xEA	0x00 0x04		0xA1	command_fail	
Parameter	ErrorCode	error code			

2.1.2 Label data lower active upload (access control) (0xA3, 0x91)

During continuous card reading, the control board disassembles and repackages the module's return data frames into 0xA3 commands for return to the host computer.

Machine.

Command packet:

Head	Len	Address	Cmd	parameters	Check
0xEA	0x000xXX		0xA3	Nbyte	
Parameter description	Tags EPC lengthen	Variable length, the first two bytes indicate the length of the EPC code; Example: 000C indicates a length of 12 bytes. <i>000c00 2803 0ac0 30 1232 0112 2822</i>			
	Label position 1byte	0, middle position 3, 7, outside 4, 8, inside			
	Whether the position has	0, no change 1, change of location			

	changed 1byte	
	Antenna ID 1byte	Used to indicate the antenna ID number of the currently read tag. 1, Antenna 1 2, Antenna 2 3, Antenna 3 4, Antenna 4
	RSSI 2byte	Received tag RSSI value (signed short integer, db value * 10, take the value and divide by 10 to get the RSSI db value)
	Tag data reading results 1Byte	Indicates the read result state of the tag data Definitions are as follows: 0, read successfully. 1, the label is not responding. 2, CRC error. 3, The data area is locked. 4, Data area overflow. 5, Access password error. 6, Other labeling errors. 7, Other read-write errors. 8, unlabeled data. The label data field data follows the data frame only if the status of this byte is 0
	Label data becomes longer	1Byte: 0x03 for TID data, 0x04 for UserData data. 2-3byte: length of label data 4-Nbyte: read tag data

2.1.3 Label data lower active upload (positioning system) (0xA4)

During continuous card reading, the control board disassembles the returned data frames from the module and repackages them into 0xA3 commands for return to the host computer.
Command packet:

Head	Len	Address	Cmd	parameters	Check
0xEA	0x00 0xXX		0xA4	Nbyte	
Parameter	Tagged EPC	Variable length, the first two bytes indicate the EPC code length;			
	Tagged PC				
	Antenna ID	Used to indicate the antenna ID number of the currently read tag.			
	RSSI	Received tag RSSI value (signed short integer, db value * 10, take			
	port number	Indicates the port number of the receiving tag			
	Deviceid 4Byte	4-byte device number			
	label state	0, correct label 1, unlabeled (goods) 2, mislabel			

reserve	1Byte	Reserve 1byte;
	Tag data	Indicates the read result state of the tag data Definitions are as
	Tagged data	1Byte: 0x03 denotes label data field number, 03h denotes tid data

2.1.4 Client-side mode tag data upload to server-side (access control customization) (0xA5)

Command packet:

Head	Len	Address	Cmd	parameters	Check
0xEA	0x000XXX		0xA5	Nbyte	
Parameter description	Device ID 4byte	4-byte device number			
	timestamp 4byte	4-byte timestamp (in seconds)			
	Tags EPC lengthen	Variable length, the first two bytes indicate the length of the EPC code; Example: 000C indicates a length of 12 bytes. 000c00 2803 0ac0 30 1232 0112 2822			

2.2 Read-write business application commands

The reader business instructions are the set of instructions related to business applications, including tag authentication, trigger events, actions and other related operations.

2.2.1 Setting EAS alarm parameters (access control) (0x50)

Upper computer command packet:

Head	Len	Address	Cmd	Data	Check
0xEA	2Byte		0x50		
Parameter description	typology	1Byte	01H Configuration (Mode 1) 02H canceled 12H mode 2 13H mode 3 14H mode 4 Configure EAS to enable the EAS Discriminate Alarm operation and activate the related parameters; Cancel EAS Indicates that the EAS identification alarm is turned off		

Parameter description	ErrorCode	Error code (0x30command_fail)
-----------------------	-----------	-------------------------------

2.2.14 Setting Cache Mode (Access Control) (0x5E)

Configure offline cache mode. When configured in offline cache mode, the control board caches the received tags and also uploads them to the host computer one by one in the connected state.

Upper computer command packet:

Head	Len	Address	Cmd	Data	Check
0xEA	2Byte		0x5E		
Parameter description	typology	1Byte	01H configured for offline cache mode 02H Cancel offline cache mode		
	Clear offline data	1Byte	00H not cleared 01H Clear offline data		

◆ The operation was successful:

The read-write returns the packet:

Head	Len	Address	Cmd	ErrorCode	Check
0xEA	2Byte		0x5E	CommandSuccess	

◆ The operation failed:

The read-write returns the packet:

Head	Len	Address	Cmd	ErrorCode	Check
0xEA	2Byte		0x5E		
Parameter description	ErrorCode	Error code (0x30command_fail)			

2.2.15 Read Cache Mode Parameter (Access Control) (0x5F)

Upper computer command packet:

Head	Len	Address	Cmd	Check
0xEA	2Byte		0x5F	

The read-write returns the packet:

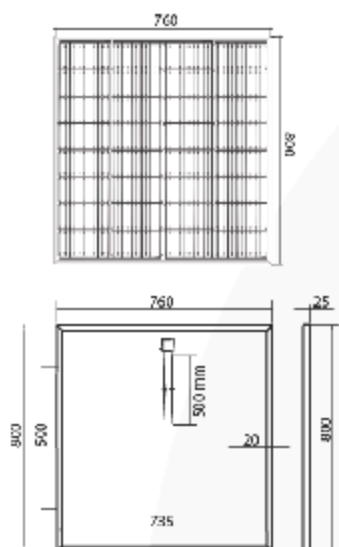
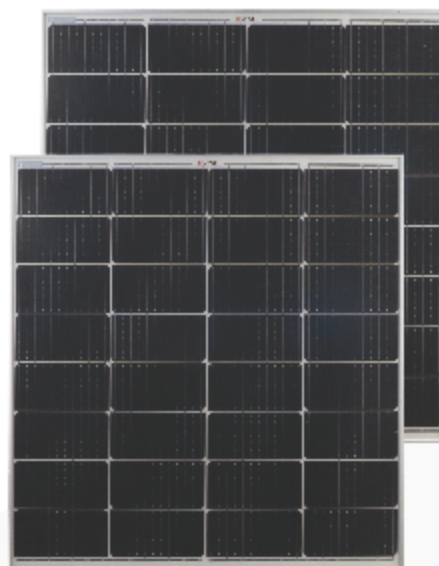
Head	Len	Address	Cmd	Data	Check
0xEA	2Byte		0x5F		
Parameter description	ErrorCode				
	typology	1Byte	01H configured for offline cache mode 02H Cancel offline cache mode		

Anexo VIII. Hoja de datos del panel solar

POWEST

Panel Solar Monocristalino 120W

- Máxima durabilidad Vs otros módulos fotovoltaicos del mercado.
- Especializados para trabajar en condiciones adversas.
- Mayor rendimiento energético gracias a su vidrio y cristal texturizado avanzado de alta transmisión, permite tener mayor eficiencia y transmisión de energía.
- Diseño innovador en sus celdas, permite reducir costos y tiempos de manejo en su instalación.



CERTIFICADO
RETIE

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANELES SOLARES	
Tipo de módulo	Monocristalino
Código	HERM120-0120
Potencia máxima (P _{max})	120W
Tolerancia salida de potencia	±0%
Eficiencia	19.70%
Voltaje en potencia máxima (V _{mp})	18.24VDC
Corriente potencia máxima (I _{mp})	6.58A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	21.80VDC
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	6.87A
Máxima tensión del sistema	1000VDC
Máx. serie de fusible	10A
Caja de conexiones (grado de protección)	IP67
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C to 85°C
NOCT (Temperatura nominal de funcionamiento de la célula)	45 ± 2
Dimensiones (Alto*Ancho*Profundo)	600mm*700mm*25mm
Peso	8.1kg
Célula (cantidad / material)	32 / silicio monocristalino
Clase de aplicación	A
Cable (longitud / área transversal)	500mm / 2.5mm ²
Conector	MC4
Calificaciones y certificados	IEC 61215, IEC 61730, CE, CQC, ISO 9001:2015, ISO 14001:2004, ISO 45001:2017, RETIE

* Sujeto a modificaciones sin previo aviso, según requerimiento del cliente, según disponibilidad de inventario y/o bajo pedido del cliente. * Fotos de referencia, accesorios no vendidos por separado.

Anexo IX. Hoja de datos de la batería

BATERIA SELLADA 12V-35AH REF. FL12350GS

POWEST

Especificaciones



Aplicaciones

- De uso múltiple.
- Fuente de alimentación. Ininterrumpida (UPS).
- Sistema de potencia Eléctrica (EPS).
- Alimentación de reserva de emergencia.
- Luz de emergencia.
- Señal ferroviaria.
- Señal de aeronaves.
- Alarma y sistema de seguridad.
- Aparatos y equipos electrónicos.
- Fuente de alimentación comunicación.
- Fuente de alimentación DC.
- Sistema de control automático.

Voltaje Nominal	12V
Capacidad Nominal (20 Hr)	35.0 Ah
Dimensiones	Longitud 197.0±2mm (7.76") Ancho 131±2mm (5.16") Altura 164.0±2mm (6.46") Altura Total 167.0±2mm (6.57")
Peso Aproximado	Aprox. 10.7 kg (23.6 lbs)
Terminal	T6-M6
Material del Envase	ABS UL 94-HB (retardante de llama UL94V-0)
Rango de Operación	36.0 AH/1.80A (20hr, 1.80W/Celda, 25° C/77°F) 34.2 AH/3.42A (10hr, 1.80W/Celda, 25° C/77°F) 30.6 AH/6.12A (5hr, 1.75W/Celda, 25° C/77°F) 22.8 AH/36.0A (1C, 1.60W/Celda, 25° C/77°F) 14.4 AH/108.0A (3C, 1.60W/Celda, 25° C/77°F)
Máxima Corriente de Descarga	851A(5s)
Resistencia Interna	Aprox. 4mΩ
Rango de Temperatura de Operación	Descarga -15~50°C (5~122°F) Carga -15~40°C (5~104°F) Almacenamiento -15~40°C (5~104°F)
Rango Nominal de Temp. de Operación	25±3°C (77±5°F)
Ciclo de Uso	Corriente de carga inicial de menos de 10.8A. Voltage: 14.4V ~ 15.0V a 25° C (77° F) de temperatura. Coeficiente -30mV/°C
Modo Espera	No hay límite en la carga inicial de tensión actual. 13.5V ~ 13.8V a 25°C (77° F) Temp. Coeficiente -20mV/°C
Capacidad Afectada por la temperatura	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%
Auto- descarga	Las Baterías de la serie POWEST GS se pueden almacenar durante un máximo de 6 meses a 25°C (77°F) y luego se requiere una carga de reposición. Para temperaturas más altas del intervalo de tiempo será más corto.

Corriente Constante de Descarga (Amperios) a 25 °C (77 °F)

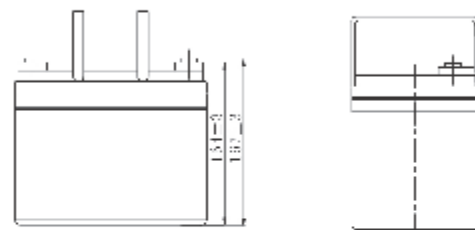
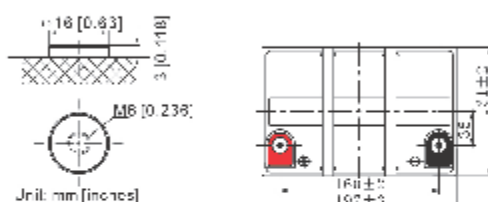
V/Tiempo	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85W/Celda	102.3	73.7	59.1	49.4	37.9	28.3	22.6	12.7	9.04	7.06	5.85	5.01	3.95	3.26	1.72
1.80W/Celda	118.2	82.7	65.2	53.7	40.7	29.9	23.8	13.2	9.31	7.28	6.02	5.15	4.05	3.35	1.75
1.75W/Celda	132.8	89.9	70.3	57.2	42.7	31.2	24.7	13.5	9.54	7.46	6.12	5.25	4.11	3.42	1.80
1.70W/Celda	144.0	96.6	74.9	60.5	44.6	32.3	25.5	13.9	9.70	7.60	6.27	5.37	4.20	3.48	1.82
1.67W/Celda	156.0	100.3	79.1	63.6	46.4	33.3	26.2	14.2	10.0	7.78	6.41	5.48	4.31	3.54	1.85
1.60W/Celda	166.8	105.2	82.7	66.6	48.4	34.4	26.8	14.6	10.2	7.98	6.58	5.63	4.40	3.62	1.90

Potencia Constante de Descarga (Vatios/celda) a 25 °C (77°F)

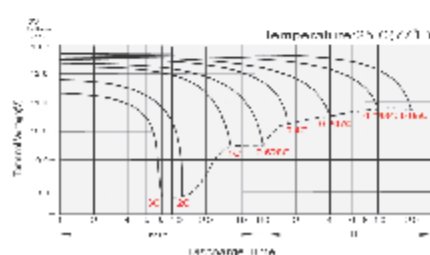
V/Tiempo	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85W/Celda	199.0	144.2	116.2	97.6	75.4	56.4	45.2	25.6	18.3	14.3	11.9	10.2	8.05	6.71	3.55
1.80W/Celda	227.6	160.2	127.1	105.1	80.1	59.3	47.4	26.3	18.7	14.7	12.2	10.4	8.22	6.85	3.59
1.75W/Celda	253.0	172.4	135.7	111.1	83.4	61.2	48.9	26.9	19.0	14.9	12.4	10.6	8.33	6.94	3.66
1.70W/Celda	271.2	183.3	142.9	116.2	86.3	62.9	49.9	27.4	19.3	15.1	12.5	10.8	8.45	7.05	3.70
1.67W/Celda	291.5	194.5	150.0	121.4	89.3	64.5	51.2	28.0	19.7	15.4	12.7	10.9	8.62	7.12	3.75
1.60W/Celda	308.1	205.4	155.2	125.9	92.2	65.9	51.7	28.3	20.0	15.7	13.0	11.1	8.73	7.21	3.81

Dimensiones (mm)

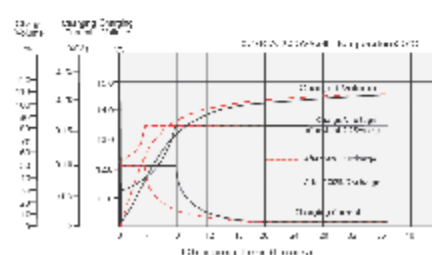
Terminal



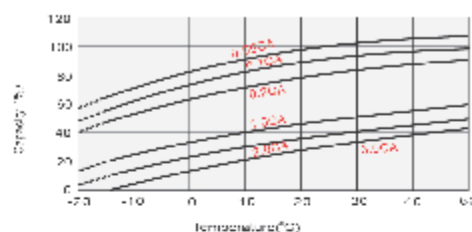
Características de Descarga



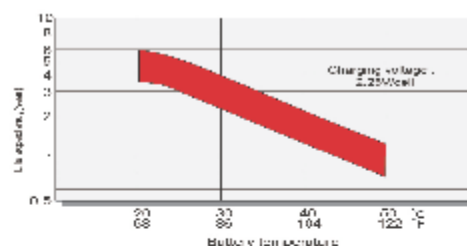
Características de Carga en flotación



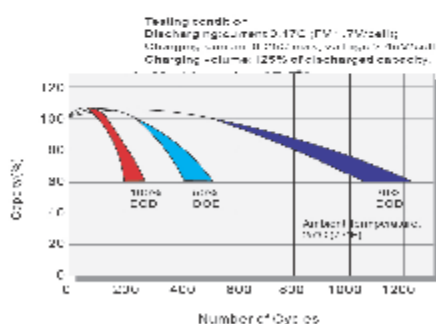
Efectos de la temperatura en relación con la capacidad de la batería



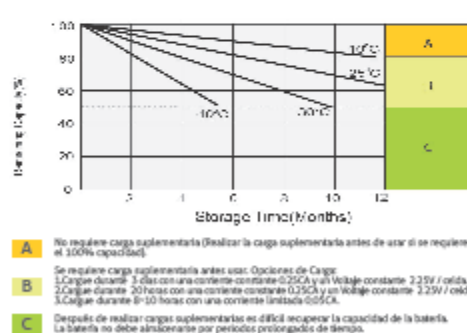
Efecto de la temperatura sobre la vida útil de la batería en flotación



Ciclo de vida en relación a la profundidad de descarga



Características de Auto-descarga



Anexo X. Experiencias de los stakeholders



Figura X.1 Código QR del video con la experiencia del presidente de la cooperativa