



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO
DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y
NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE
ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR:

Cristian Alexander Changoluisa Bohórquez

TUTOR:

Ing. Hidalgo Oñate Ángel Hidalgo MSc.

LATACUNGA, MARZO 2026

Latacunga, marzo 2026

DECLARATORIA DE AUDITORIA

Yo Cristian Alexander Changoluisa Bohórquez declaro ser autor del proyecto de titulación **“ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)”**. Siendo el Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate MSc., tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Cristian Alexander Changoluisa Bohórquez

CC. 1722578406

Latacunga, marzo 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “**ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)**”, propuesto por el o la estudiante Changoluisa Bohórquez Cristian Alexander de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate. Mg.

C.C. 0503257404

TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título "ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)", propuesto por los estudiante Changoluisa Bohórquez Cristian Alexander, de la Carrera de Ingeniería Industrial, me permito indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad **Proyecto Tecnológico** en virtud de lo cual los postulantes puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



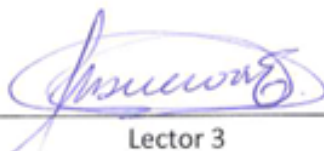
Lector 1 (Presidente)

Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino. Mg.
CC:1804710463



Lector 2

Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena. Mg.
CC: 0503072902



Lector 3

PhD. Medardo Ángel Ulloa Enríquez
CC: 1804302238

CERTIFICADO

Quito, 9 de marzo 2026

Quien suscribe el Gerente Aje Group Quito Norte, **YIYE HERNÁN MENDOZA LUGO** con C.I. 1309782439, luego de revisar los archivos correspondientes que reposan en la oficina a mi cargo.

Certifica que: el señor **CRISTIAN ALEXANDER CHANGOLUISA BOHÓRQUEZ** con C.I. 1722578406, se encuentra desarrollando el proyecto tecnológico con el tema: **"ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)"**.

Se hace constar que se ha desarrollado y validado satisfactoriamente en su versión uno de la aplicación **AJE EC V1**, la cual posee una arquitectura de escalabilidad amplia, diseñada con el firme propósito de resolver los desafíos logísticos y operativos de la flota de transporte.

De igual manera, extendemos un profundo agradecimiento a la **Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)** y a la Carrera de Ingeniería Industrial por fomentar este tipo de vinculaciones estratégicas. Valoramos enormemente el compromiso de la institución al permitir que sus estudiantes apliquen conocimientos de vanguardia en entornos reales, impulsando así el desarrollo tecnológico y la eficiencia en el sector industrial.

LO CERTIFICO:

  Yiye Mendoza Lugo
C.I.: 1309782439
ADMINISTRADOR

Yiye Hernán Mendoza Lugo

C.I. 1309782439

GERENCIA AJE GROUP QUITO NORTE

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles de este camino, por iluminar mis decisiones y por permitirme llegar hasta aquí.

A mi Amada Madre, el amor más grande de mi vida. Tu sacrificio, tu fe inquebrantable en mí y tu apoyo incondicional fueron el motor que me impulsó cada día. En los momentos en que quise rendirme, tu amor fue la razón para continuar. Este logro lleva tu nombre, Mamá, porque sin ti simplemente no hubiera sido posible.

A mi tutor, el Ing. Ángel Hidalgo, por su guía, paciencia y dedicación a lo largo de este proyecto. Su orientación fue fundamental para que esta investigación alcanzara el nivel que hoy presenta.

A los docentes que formaron parte de mi carrera, gracias por los conocimientos y la exigencia que me convirtieron en el profesional que hoy soy.

Cristian Ch. Bohórquez

DEDICATORIA

A mi Amada Madre, por ser mi razón, mi fuerza y mi refugio. Por cada sacrificio que hiciste en silencio, por cada vez que creíste en mí más de lo que yo mismo creía. Recuerdo el día que supo de la aceptación del cupo, tuvo miedo, pero aun así confió en mí sin dudar. Este logro nació de ese amor y hoy te lo entrego con el alma llena de gratitud y orgullo.

A mis tres angelitos en el cielo, que desde donde están siempre me acompañaron. Cada vez que quise rendirme, sentí su presencia empujándome a seguir. Se los prometí y aquí está, lo logré.

A esa persona especial que vio en mí lo que yo aún no podía ver. Gracias por empujarme a dar el primer paso y por creer en mi potencial antes que nadie. Te lo prometí y hoy, cumplo mi palabra.

Cristian Ch. Bohórquez.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)”

Autor:

Changoluisa Bohórquez Cristian Alexander

RESUMEN

El Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group Ecuador operaba con un índice de retornos del 14%, equivalente a 1.190 cajas no entregadas diariamente y un costo anual de USD 220.008, originado por un sistema de planificación de rutas completamente manual, sin visibilidad en tiempo real ni confirmación previa de disponibilidad de clientes. Bajo la metodología ágil Scrum, se diseñó y desarrolló el prototipo funcional AJE EC V1, una arquitectura de aplicación móvil para ruteo dinámico de flotas que integra tecnologías IoT, Edge Computing y notificaciones proactivas, construida en FlutterFlow con integración completa de Firebase y Google Maps Platform. El sistema implementa tres interfaces diferenciadas por rol que transforman el smartphone del conductor en nodo IoT, dispositivo Edge Computing y terminal de notificaciones simultáneamente, eliminando la necesidad de hardware adicional por vehículo y reduciendo el CAPEX de implementación a USD 4.856. Las pruebas funcionales en condiciones reales demostraron una reducción del tiempo de jornada operativa del 38% al 43%, mientras que el análisis costo-beneficio confirmó la viabilidad económica en los tres escenarios evaluados, con una relación B/C mínima de 12,37, un Payback Period de 16,5 días y un costo de solución inferior al 4% del problema anual que resuelve, confirmando al sistema AJE EC V1 como una intervención tecnológica técnica y económicamente justificable para la operación logística del CD Quito Norte.

Palabras clave: ruteo dinámico de flotas, IoT, Edge Computing, aplicación móvil, optimización logística.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “ARCHITECTURE OF A MOBILE APPLICATION FOR DYNAMIC ROUTING OF TRANSPORT FLEETS USING THE IoT, EDGE COMPUTING AND PROACTIVE REAL-TIME NOTIFICATIONS (CASE STUDY: AJE ECUADOR – BIG COLA – CD QUITO NORTE)”

Author: Changoluisa Bohórquez Cristian Alexander

ABSTRACT

Aje Group Ecuador’s Quito Norte Distribution Centre was operating with a return rate of 14%, equivalent to 1,190 undelivered parcels per day and an annual cost of USD 220,008, caused by a completely manual route planning system that lacked real-time visibility and prior confirmation of customer availability. Using the agile Scrum methodology, the AJE EC V1 functional prototype was designed and developed: a mobile application architecture for dynamic fleet routing that integrates IoT, Edge Computing and proactive notifications, built in FlutterFlow with full integration of Firebase and the Google Maps Platform. The system implements three role-specific interfaces that transform the driver’s smartphone into an IoT node, an Edge Computing device and a notification terminal simultaneously, eliminating the need for additional hardware per vehicle and reducing implementation CAPEX to USD 4,856. Functional tests under real-world conditions demonstrated a reduction in operating time of between 38% and 43%, whilst the cost-benefit analysis confirmed economic viability across the three scenarios evaluated, with a minimum B/C ratio of 12.37, a payback period of 16.5 days and a solution cost of less than 4% of the annual problem it resolves, confirming the AJE EC V1 system as a technically and economically justifiable technological intervention for the logistics operations of the Quito Norte Distribution Centre.

KEYWORDS: Dynamic fleet route, IoT, Edge Computing, Mobile application, Logistics optimization.

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. Situación problemática	2
2.2. Formulación del problema.....	3
2.3. Objeto y campo de acción	3
2.4. Beneficiarios.....	4
2.4.1. Directo	4
2.4.2. Indirecto.....	4
2.5. Justificación	4
2.6. Objetivos.....	6
2.6.1. General	6
2.6.2. Específicos.....	6
2.7. Sistema de Tareas	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1. Antecedentes de la Investigación.....	8
3.2. Ruteo Dinámico de Vehículos	10
3.2.1. Problema de Ruteo y su Complejidad	10
3.2.2. Algoritmos y Factores Críticos de Optimización	11
3.3. Internet de las Cosas (IoT) en Gestión de Flotas.....	12
3.3.1. Arquitectura y Dispositivos IoT	12
3.3.2. Protocolos de Comunicación IoT	13
3.4. Edge Computing en Sistemas de Transporte Inteligentes	14
3.4.1. Paradigma y Procesamiento Distribuido	14
3.4.2. Integración Edge-Cloud.....	15
3.5. Sistemas de Notificaciones Proactivas en Tiempo Real.....	16
3.5.1. Arquitecturas de Notificaciones Push.....	16
3.5.2. Estrategias Proactivas y Gestión de Prioridades.....	17
3.6. Arquitecturas de Aplicaciones Móviles	18
3.6.1. Patrones Arquitectónicos y Desarrollo Multiplataforma.....	18
3.6.2. Integración con Servicios Backend	20

3.7. Integración de APIs de Mapas y Tráfico	21
3.7.1. Google Maps Platform y su Aplicación en Ruteo Logístico	21
3.7.2. Tráfico en Tiempo Real e Impacto en Ruteo Dinámico	23
3.8. Seguridad en Aplicaciones Móviles Empresariales.....	23
3.8.1. Autenticación y Autorización	23
3.8.2. Cifrado y Protección de Datos.....	24
3.8.3. Vulnerabilidades y Mejores Prácticas.....	25
3.9. Análisis Costo-Beneficio de Soluciones Tecnológicas.....	27
3.9.1. Metodologías de Evaluación Económica	27
3.9.2. Costos de Implementación y Beneficios Operativos.....	28
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	29
4.1. Tipo y Enfoque de Investigación	29
4.2. Métodos de Investigación.....	29
4.3. Metodología Ágil Scrum	30
4.4. Técnicas de Recolección de Datos	32
4.4.1. Investigación Documental	32
4.4.2. Mapas de Empatía	32
4.4.3. Design Thinking como marco metodológico de diagnóstico	33
4.4.4. Entrevistas Semiestructuradas	34
4.5. Técnicas de Análisis de Datos	35
4.5.1. Diagrama de Ishikawa	35
4.5.2. Mapeo del Proceso Actual (AS-IS)	37
4.5.3. Proceso Propuesto (TO-BE) y Comparativa AS-IS vs. TO-BE.....	39
4.6. Diseño de la Arquitectura	39
4.7. Definición de Requisitos del Sistema.....	39
4.8. Diseño de la Arquitectura por Capas	41
4.8.1. Backend como Servicio: Firebase	43
4.8.2. Integración con APIs de Mapas y Ruteo	45
4.9. Modelo de Datos en Firebase Firestore	46
4.10. Diseño de Roles e Interfaces en FlutterFlow.....	46
4.10.1. Interfaces Diferenciadas por Rol	47

4.10.2. Mecanismos de Seguridad del Sistema	47
4.11. Análisis Costo-Beneficio	48
4.11.1. Estructura de Costos CAPEX y OPEX.....	48
4.11.2. Indicadores de Rentabilidad	50
4.11.3. Análisis de Sensibilidad por Escenarios	51
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
5.1. Caracterización del Centro de Distribución Quito Norte Aje Group Ecuador	52
5.1.1. Mapa de Procesos Aje Group CD Quito Norte	53
5.1.2. Estructura Organizacional y Flota Vehicular.....	54
5.1.3. Indicadores Clave de Desempeño (KPIs).....	56
5.2. Análisis del Volumen Operativo	58
5.3. Técnicas de Recolección de Datos	58
5.3.1. Investigación Documental	58
5.3.2. Mapas de Empatía	59
5.3.3. Entrevistas Semiestructuradas	61
5.4. Análisis de Causas Raíz - Diagrama de Ishikawa.....	61
5.5. Cuantificación del Impacto Económico de las Entregas No Efectivas	64
5.5.1. Cálculo del Costo Unitario por Entrega Fallida	64
5.5.2. Distribución de Causas y Abordabilidad Tecnológica.....	65
5.6. Diseño de la Arquitectura Tecnológica del Sistema	67
5.6.1. Definición de Requisitos Funcionales (Sprint 1).....	67
5.6.2. Definición de Requisitos No Funcionales	69
5.7. Diseño de la Arquitectura Tecnológica del Sistema AJE EC V1 (Sprint 2)	70
5.7.1. Descripción General de la Arquitectura de Cinco Capas	70
5.7.2. Capa 1. Dispositivos IoT: El Smartphone como Nodo Inteligente de Campo ...	71
5.7.3. Capa 2. Edge Computing: Inteligencia en el Borde de la Red	71
5.7.4. Capa 3. Cloud Backend: Firebase como Sistema Nervioso Central.....	71
5.7.5. Capa 4. APIs Externas: 33 APIs de Google Maps Platform.....	72
5.7.6. Capa 5. Interfaces de Usuario: Tres Aplicaciones, Un Solo Sistema	72
5.7.7. Comparativa con Arquitecturas IoT Alternativas	74
5.7.8. Mapeo del Proceso Propuesto de Distribución (TO-BE)	75

5.7.9. Comparativa del Proceso AS-IS vs. TO-BE	77
5.7.10. Modelo de Datos Firebase Firestore	77
5.8. Desarrollo del Prototipo Funcional AJE EC V1 (Sprint 3)	79
5.8.1. Selección Justificada de la Plataforma de Desarrollo: FlutterFlow	79
5.8.2. Ventajas Técnicas de FlutterFlow para el Desarrollo de AJE EC V1	81
5.8.3. Integración FlutterFlow - Firebase Google Cloud Platform.....	83
5.8.4. Diseño de Interfaz de Usuario (UI) y Experiencia de Usuario (UX)	85
5.8.5. Desarrollo de las Interfaces por Rol	86
5.9. Pruebas Funcionales en Producción y Validación Técnica (Sprint 4)	94
5.9.1. Comparativa Operativa AS-IS vs. AJE EC V1	97
5.10. Informe de Validación Técnica del Prototipo AJE EC V1	98
5.11. Análisis de Factibilidad Económica.....	100
5.11.1. Identificación y Estimación de Costos - CAPEX y OPEX.....	100
5.11.2. Definición de Escenarios de Análisis	102
5.11.3. Estimación de Beneficios Económicos por Escenario.....	103
5.11.4. Análisis de Sensibilidad.....	104
5.11.5. Relación Costo-Beneficio (B/C) y Período de Recuperación.....	105
5.11.6. Resumen Ejecutivo de la Factibilidad Económica	107
6. LIMITACIONES	108
7. CONCLUSIONES.....	109
8. RECOMENDACIONES	111
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de tareas del proyecto	7
Tabla 2. Relación de estudios previos sobre ruteo.....	8
Tabla 3. Categorías del Problema de Ruteo Dinámico de Vehículos	11
Tabla 4. Comparativa de algoritmos para ruteo dinámico de vehículos.....	11
Tabla 5. Arquitectura IoT de cuatro capas aplicada al sistema de ruteo Aje Ecuador.....	13
Tabla 6. Comparativa de protocolos de comunicación IoT para el sistema Aje Ecuador	13
Tabla 7. Comparativa de paradigmas de procesamiento distribuido en la arquitectura Aje Ecuador.....	15
Tabla 8. Distribución de procesamiento Edge-Cloud en el sistema Aje Ecuador	16
Tabla 9. Eventos operativos registrados en Firebase que disparan notificaciones en el sistema Aje Ecuador	17
Tabla 10. Clasificación de prioridades de notificación en el sistema Aje Ecuador	18
Tabla 11. Comparativa de patrones arquitectónicos evaluados para el sistema Aje Ecuador ..	19
Tabla 12. Comparativa de interfaces del sistema Aje Ecuador.....	20
Tabla 13. Servicios Firebase utilizados en la arquitectura del sistema Aje Ecuador.....	20
Tabla 14. APIs de Google Maps Platform y claves de autenticación en sistemas de gestión logística.....	22
Tabla 15. Comparativa de modelos de control de acceso en aplicaciones móviles empresariales	24
Tabla 16. Mecanismos de seguridad por capa en arquitecturas móviles empresariales	25
Tabla 17. Vulnerabilidades OWASP Mobile Top 10 2024 relevantes para sistemas de gestión logística.....	26
Tabla 18. Indicadores financieros para evaluación de proyectos tecnológicos logísticos.....	27
Tabla 19. Categorías de costos CAPEX y OPEX en sistemas IoT para gestión de flotas.....	28
Tabla 20. Roles Scrum definidos para el proyecto	31
Tabla 21. Estructura de sprints del proyecto.....	32
Tabla 22. Marco de clasificación y verificación de requisitos del sistema.....	40
Tabla 23. Arquitectura por capas del sistema propuesto	42
Tabla 24. Servicios de la plataforma Firebase y su función en el sistema	44
Tabla 25. Categorías de APIs de mapas y ruteo integradas en el sistema	45

Tabla 26. Estructura de costos CAPEX y OPEX del sistema propuesto.....	49
Tabla 27. Escenarios de sensibilidad para el análisis costo-beneficio.....	51
Tabla 28. Distribución de áreas funcionales del CD Quito Norte	52
Tabla 29. Estructura de personal del CD Quito Norte	55
Tabla 30. Composición de la flota vehicular del CD Quito Norte	56
Tabla 31. Indicadores clave de desempeño del CD Quito Norte - 2. ° semestre 2025.....	57
Tabla 32. Métricas de volumen operativo del CD Quito Norte - base de cálculo	58
Tabla 33. Mapas de empatía, actores del proceso de distribución.....	60
Tabla 34. Análisis de causas raíz - Diagrama de Ishikawa aplicado al CD Quito Norte.....	63
Tabla 35. Cuantificación del costo mensual y anual por entregas fallidas - CD Quito Norte..	65
Tabla 36. Distribución de causas de entregas no efectivas y abordabilidad tecnológica	66
Tabla 37. Requisitos funcionales del sistema AJE EC V1.....	68
Tabla 38. Requisitos no funcionales del sistema AJE EC V1.....	69
Tabla 39. Arquitectura tecnológica por capas del sistema AJE EC V1	74
Tabla 40. Comparativa de arquitecturas IoT para gestión de flotas	75
Tabla 41. Estructura del documento en la colección puntos_ruta1 - Firestore AJE EC V1	78
Tabla 42. Comparativa de plataformas de desarrollo low-code para AJE EC V1	80
Tabla 43. Cadena de integración tecnológica FlutterFlow - Google Cloud - AJE EC V1	84
Tabla 44. Pruebas funcionales en producción / AJE EC V1.....	96
Tabla 45. Comparativa de tiempo de jornada operativa por etapa - AS-IS vs. AJE EC V1	97
Tabla 46. Informe de validación técnica multidimensional.....	99
Tabla 47. Estructura de costos CAPEX y OPEX - Sistema AJE EC V1	101
Tabla 48. Definición de escenarios de análisis - Sistema AJE EC V1	102
Tabla 49. Estimación de beneficios económicos anuales por escenario.....	104
Tabla 50. Análisis de sensibilidad por variables clave - Sistema AJE EC V1.....	105
Tabla 51. Relación Costo-Beneficio y Payback Period - Sistema AJE EC V1	106
Tabla 52. Resumen ejecutivo de factibilidad económica - AJE EC V1, tres escenarios	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Empatía	34
Figura 2. Diagrama de Ishikawa.....	36
Figura 3. Mapa de Flujo As-Is Aje Ecuador	38
Figura 4. Arquitectura del sistema por capas.....	43
Figura 5. Mapa de Procesos Aje Group CD Quito Norte	54
Figura 6. Estructura organizacional.....	55
Figura 7. Diagrama de Ishikawa AJE Group CD Quito Norte	62
Figura 8. Arquitectura AJE EC V1	73
Figura 9. Mapa de flujo TO-BE.....	76
Figura 10. Pantalla Bienvenida y Selección de Rol Aje EC V1	87
Figura 11. Pantalla lector QR Aje EC V1	88
Figura 12. Selección de Rutas en panel Transportista	89
Figura 13. Designación de puntos de entrega.....	90
Figura 14. Navegación GPS optimizada	91
Figura 15. Panel Despachador Aje EC V1	92
Figura 16. Panel Administrador Aje EC V1	93
Figura 17. Rastreo Admin/Posición en tiempo Real de la flota de Aje EC V1	94

1. INFORMACIÓN GENERAL.

Título del Proyecto: Arquitectura de una Aplicación Móvil para Ruteo Dinámico de Flotas de Transporte con IoT, Edge Computing y Notificaciones Proactivas en Tiempo Real (Caso: Aje Ecuador - Big Cola - CD Quito Norte).

Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual. Artículo científico	X

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Transformación Digital: El Impacto de las Tecnologías 4.0 en la Industria y la Academia.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Estudiante: Changoluisa Bohórquez Cristian Alexander

Tutor: Ing. Hidalgo Oñate Ángel Hidalgo MsC.

Área de conocimiento: 0613 Software y desarrollo y análisis de aplicativos.

Línea de investigación: Tecnología Industrial, gestión de la producción, riesgo y seguridad laboral.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Innovación tecnológica de los sistemas productivos.

2. INTRODUCCIÓN.

2.1. Situación problemática.

El ruteo de flotas de transporte constituye un elemento clave dentro de la gestión logística, ya que permite planificar y ejecutar las rutas de distribución considerando variables como ubicación geográfica, tráfico y condiciones operativas, con el objetivo de mejorar la eficiencia en los procesos de entrega. No obstante, en el Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group, la planificación y ejecución de las rutas se realizan de forma predominantemente manual, sin el soporte de una arquitectura tecnológica que permita la recopilación y el procesamiento de información operativa en tiempo real [1].

Esta modalidad operativa genera desviaciones medibles en los indicadores de gestión logística del centro. Durante el segundo semestre de 2025, el índice de retornos alcanzó el 14% del volumen diario distribuido, equivalente a 1.190 cajas no entregadas por día sobre un total de 8.500 cajas despachadas, superando en más de cuatro veces la meta operativa establecida del 3%. De forma simultánea, las salidas de los camiones T2 presentan retrasos sistemáticos respecto a la hora meta de 07:30, atribuibles al proceso manual de elaboración de guías de ruta, lo que genera una asignación desigual de puntos de entrega entre unidades y una alta variabilidad en el Tiempo de Atención al Transporte (TAT). Estas condiciones se reflejan además en el costo por caja distribuida, que oscila entre \$0.25 y \$0.29 frente a un costo objetivo de \$0.20 a \$0.22, representando un sobrecosto operativo de hasta el 32% por unidad movilizada.

Diversos estudios señalan que la integración de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) permite el monitoreo en tiempo real de flotas de transporte y la optimización dinámica de rutas [2].

Asimismo, arquitecturas que combinan IoT con Edge Computing posibilitan el procesamiento local de datos operativos, facilitando una toma de decisiones más ágil ante eventos imprevistos como congestión vehicular o cambios en la disponibilidad de los puntos de entrega [3].

Sin embargo, estas capacidades tecnológicas no han sido incorporadas en la gestión logística del Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group, lo que evidencia la necesidad de analizar

la situación actual y evaluar una arquitectura tecnológica que contribuya al fortalecimiento de la gestión del ruteo de flotas de transporte.

2.2 Formulación del problema.

El Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group registra, durante el segundo semestre del año 2025, un índice de retornos del 14%, equivalente a 1.190 cajas no entregadas por día sobre un volumen diario de distribución de 8.500 cajas, superando en más de cuatro veces la meta operativa establecida del 3%. Esta situación genera una carga logística inversa no planificada y un sobre costo operativo directo, dado que el costo real por caja distribuida oscila entre \$0.25 y \$0.29, frente a un costo objetivo de \$0.20 a \$0.22, representando un sobre costo de hasta el 32% por unidad movilizada.

A esto se suma que las salidas de los camiones T2 presentan retrasos sistemáticos respecto a la hora meta de 07:30, originados por la elaboración manual de guías de ruta, lo que retrasa la asignación de puntos de entrega y genera una distribución desigual de carga entre unidades. Esta variabilidad impacta directamente en el Tiempo de Atención al Transporte (TAT), cuyo comportamiento irregular impide una planificación confiable de la jornada operativa.

La causa raíz de estas desviaciones se atribuye a la ausencia de un sistema tecnológico que permita la asignación dinámica de rutas, el monitoreo en tiempo real de las unidades y la confirmación previa de disponibilidad en los puntos de entrega. En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿En qué medida la implementación de una aplicación móvil con integración de IoT, Edge Computing y notificaciones proactivas contribuye a la reducción de los tiempos de despacho y a la minimización de la variabilidad operativa en el Centro de Distribución Quito Norte de Aje Ecuador?

2.3. Objeto y campo de acción:

El objeto de estudio es la gestión del ruteo de flotas de transporte del Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group, específicamente los procesos de planificación, asignación y

seguimiento de rutas de distribución y su impacto en los indicadores operativos del área logística. El campo de acción, según las áreas de conocimiento de la UNESCO, corresponde a 0613 Software y desarrollo y análisis de aplicativos.

2.4. Beneficiarios

2.4.1. Directo.

El beneficiario principal del presente trabajo de titulación es Aje Group Ecuador, específicamente el Centro de Distribución Quito Norte, al contar con una propuesta tecnológica orientada a fortalecer la gestión del ruteo y distribución de flotas de transporte, facilitando la toma de decisiones operativas mediante el acceso a información en tiempo real.

De manera directa, también se benefician los transportistas, conductores de flota y el personal administrativo del área de logística, quienes dispondrán de herramientas para la visualización, monitoreo y supervisión de las rutas, así como de notificaciones oportunas que apoyen la ejecución de las entregas y reduzcan la carga operativa durante la jornada laboral.

2.4.2. Indirecto.

Los beneficiarios indirectos corresponden a los puntos de venta y clientes finales que comercializan y distribuyen los productos de Aje Group Ecuador, quienes se verán favorecidos por una mayor confiabilidad en los tiempos de entrega, una reducción de entregas no efectivas y una mejora en la continuidad del servicio de distribución.

2.5. Justificación.

El presente trabajo de titulación se justifica, en el ámbito personal y académico, por el interés en aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera en el análisis y diseño de soluciones tecnológicas orientadas a la mejora de procesos logísticos, integrando conceptos actuales como Internet de las Cosas (IoT), Edge Computing y notificaciones en tiempo real. El acceso directo a la operación del Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group permite contrastar la teoría con evidencia operativa real, fortaleciendo el rigor metodológico de la investigación.

Desde una perspectiva teórica, el estudio aporta al análisis de arquitecturas tecnológicas aplicadas al ruteo dinámico de flotas de transporte, en un contexto donde los procesos logísticos en Ecuador se realizan en gran medida de forma manual, lo que genera lentitud y desorganización, y donde el sector está migrando hacia el uso de tecnologías y plataformas que eleven la competitividad [4].

En el aspecto metodológico, la investigación aplica enfoques de diseño de sistemas orientados a la definición y evaluación de la factibilidad de una arquitectura tecnológica, sustentados en indicadores operativos reales del área de logística del centro de distribución.

En el ámbito práctico y laboral, la pertinencia del estudio se fundamenta en las desviaciones operativas identificadas durante el segundo semestre de 2025: un índice de retornos del 14% equivalente a 1.190 cajas no entregadas diariamente, retrasos sistemáticos en la salida de flotas y un costo por caja que supera en hasta un 32% el objetivo operativo establecido. Estas cifras adquieren mayor relevancia considerando que en Ecuador más del 71% de las ventas del sector de bebidas se efectúan en tiendas de barrio, abarrotes, bodegas y distribuidores, lo que hace que la eficiencia en la última milla sea determinante para la competitividad del negocio [5].

Finalmente, desde la perspectiva social y económica, el estudio es relevante porque la industria de bebidas no alcohólicas aporta 1.118 millones de dólares a la economía del país, representando el 3,6% de la producción de la industria manufacturera nacional, por lo que mejoras en la eficiencia logística de sus actores contribuyen directamente a la sostenibilidad del sector [5].

Asimismo, esta investigación establece un precedente técnico para la adopción de arquitecturas descentralizadas en la región, demostrando que la eficiencia en la última milla depende de la capacidad de procesar datos en el origen. De este modo, se trasciende la digitalización convencional para proponer un modelo de gestión inteligente que garantiza la sostenibilidad operativa y la competitividad de la cadena de suministro en mercados de alta demanda.

2.6. Objetivos.

2.6.1 General.

Evaluar la factibilidad técnica y económica del diseño de la arquitectura de una aplicación móvil para ruteo dinámico de flotas de transporte, mediante la integración de tecnologías IoT, Edge Computing y notificaciones proactivas en tiempo real, para el fortalecimiento de la gestión del ruteo en el Centro de Distribución Quito Norte de Aje Ecuador.

2.6.2. Específicos.

1. Diagnosticar la situación administrativa y operativa del área de logística del Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group, mediante el análisis de los procesos actuales de ruteo y distribución, para la identificación de las causas administrativas y operativas que generan entregas no efectivas.
2. Definir la arquitectura de una aplicación móvil para ruteo dinámico de flotas de transporte, mediante la especificación de sus componentes funcionales, tecnológicos y de comunicación basados en IoT, Edge Computing y notificaciones proactivas en tiempo real, para elaborar la documentación técnica que sirva de base para la evaluación de su factibilidad operativa.
3. Analizar los costos asociados a la solución tecnológica propuesta para el ruteo dinámico de flotas de transporte, considerando la arquitectura definida, la aplicación basada en una plataforma móvil y los servicios tecnológicos asociados, para la determinación del retorno de inversión (ROI) y la viabilidad económica de su adopción en el Centro de Distribución Quito Norte de Aje Ecuador.

2.7. Sistema de Tareas.

El sistema de tareas que da cumplimiento a los objetivos específicos se desglosa en la Tabla 1.

Tabla 1. Sistemas de tareas del proyecto.

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados Esperados	Técnicas, medios e instrumentos
<p>Diagnosticar la situación administrativa y operativa del área de logística del Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group, mediante el análisis de los procesos actuales de ruteo y distribución, para la identificación de las causas administrativas y operativas que generan entregas no efectivas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisión documental de reportes históricos de ruteo, entregas no efectivas y logística inversa. 2. Análisis del proceso actual de planificación y ejecución de rutas (modelo <i>as-is</i>). 3. Elaboración de mapas de empatía con conductores, despachadores y personal administrativo del área logística. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de las principales causas administrativas y operativas que generan entregas no efectivas. 2. Diagrama del proceso actual de ruteo manual. 3. Informe diagnóstico que incluya indicadores clave (porcentaje de entregas no efectivas, tiempos de entrega y costos operativos asociados). 	<p>Técnicas: Investigación documental y análisis de procesos. Medios: Documentación interna del área logística. Instrumentos: Diagramas de procesos (Draw.io), mapas de empatía (Canva o Miro).</p>
<p>Definir la arquitectura de una aplicación móvil para ruteo dinámico de flotas de transporte, mediante la especificación de sus componentes funcionales, tecnológicos y de comunicación basados en IoT, Edge Computing y notificaciones proactivas en tiempo real, para la elaboración de la documentación arquitectónica que sirva de base para la evaluación de su factibilidad técnica.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definición de los requisitos funcionales y no funcionales de la aplicación móvil. 2. Diseño de la arquitectura tecnológica propuesta, integrando dispositivos móviles como nodos IoT, procesamiento en el borde (Edge Computing), servicios en la nube y sistemas de notificaciones en tiempo real. 3. Desarrollo de un prototipo funcional de la aplicación móvil que permita la visualización de rutas, monitoreo GPS y notificaciones proactivas. 4. Ejecución de pruebas funcionales simuladas bajo diferentes escenarios operativos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Documento de requisitos funcionales y no funcionales de la aplicación móvil. 2. Diagrama de la arquitectura tecnológica propuesta. 3. Prototipo funcional demostrable de la aplicación móvil. 4. Informe de validación técnica del prototipo. 	<p>Técnicas: Ingeniería de requisitos, diseño de arquitectura y pruebas funcionales. Medios: Datos simulados de tráfico y geolocalización. Instrumentos: FlutterFlow, Firebase, Google Maps Platform, Draw.io.</p>
<p>Analizar los costos asociados a la solución tecnológica propuesta para el ruteo dinámico de flotas de transporte, considerando la arquitectura definida, la aplicación basada en una plataforma móvil y los servicios tecnológicos asociados, para la determinación del retorno de inversión (ROI) y la viabilidad económica de su adopción en el Centro de Distribución Quito Norte de Aje Ecuador.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación y estimación de los costos de desarrollo, implementación y operación de la solución tecnológica. 2. Estimación de los beneficios económicos derivados de la reducción de entregas no efectivas y optimización del uso de la flota. 3. Cálculo del retorno de inversión (ROI) y del período de recuperación de la inversión. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desglose de costos de la solución tecnológica propuesta. 2. Análisis del retorno de inversión y período de recuperación. 3. Conclusión sobre la viabilidad económica de la solución. 	<p>Técnicas: Análisis costo-beneficio. Medios: Tarifarios y precios públicos de servicios tecnológicos. Instrumentos: Hojas de cálculo (Excel o Google Sheets).</p>

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

3.1 Antecedentes de la Investigación.

El ruteo dinámico de flotas de transporte ha sido objeto de estudio progresivo desde mediados del siglo XX, evolucionando desde modelos matemáticos estáticos hacia arquitecturas tecnológicas que integran dispositivos móviles, IoT y procesamiento distribuido en tiempo real. Los estudios previos identificados para el presente trabajo abarcan cuatro líneas de investigación directamente relacionadas con la problemática del Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group: la formulación matemática del problema de ruteo, la gestión de flotas mediante IoT, el uso del smartphone como nodo IoT a bordo del vehículo, y la integración de Edge Computing en logística urbana.

En la Tabla 2 se presenta una comparativa de los principales antecedentes de investigación considerados como base del presente estudio, detallando el enfoque de cada trabajo y su aporte específico al problema analizado.

Tabla 2. Relación de estudios previos sobre ruteo.

Cita	Autor(es)	Año	Enfoque	Aporte al presente estudio
[6]	Dantzig & Ramser	1959	Fundamento matemático del VRP - ruteo óptimo de flotas desde un terminal central.	Base conceptual del problema de ruteo que enfrenta el CD Quito Norte.
[7]	Farahpoor, Esparza & Soriano	2023	Sistema IoT integral para gestión de flotas industriales con telemática en tiempo real.	Valida la arquitectura IoT como solución a sistemas telemáticos obsoletos en distribución.
[8]	Meseguer, Calafate, Cano & Manzoni	2013	Smartphone como nodo IoT a bordo del vehículo para monitoreo en tiempo real.	Fundamenta el uso del teléfono móvil del conductor como dispositivo IoT en cada camión.
[9]	Reis, J.	2025	Edge Intelligence para optimización de última milla en distribución.	Respalda la integración de Edge Computing para mejorar eficiencia operativa en centros de distribución.

A. Dantzig & Ramser.

El problema de ruteo de vehículos fue formulado por primera vez por Dantzig y Ramser, quienes abordaron la asignación óptima de rutas para una flota de camiones desde un terminal central hacia múltiples puntos de distribución, buscando minimizar la distancia total recorrida mediante programación lineal [6].

Este trabajo estableció las bases matemáticas del VRP, problema que en el Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group se resuelve actualmente de forma manual, sin optimización algorítmica, generando las desviaciones operativas identificadas en el presente estudio.

B. Farahpoor, Esparza & Soriano.

En el contexto industrial reciente, un sistema IoT denominado IDHMS fue diseñado para superar las limitaciones de los sistemas telemáticos tradicionales, caracterizados por protocolos propietarios cerrados, incompatibilidad entre marcas y capacidad insuficiente de análisis en tiempo real [7].

La arquitectura propuesta integra hardware embebido, software en la nube e infraestructura de red flexible, demostrando que los sistemas IoT de código abierto superan a los sistemas propietarios en interoperabilidad y escalabilidad. Este enfoque es directamente aplicable al caso Aje Ecuador, donde la ausencia de una arquitectura tecnológica abierta limita la gestión operativa de la flota.

C. Meseguer, Calafate, Cano & Manzoni.

En el campo del Mobile IoT, la plataforma DrivingStyles demostró que es posible lograr una simbiosis entre smartphones y vehículos, permitiendo que el teléfono móvil opere como una unidad a bordo capaz de capturar datos de velocidad, aceleración y posición en tiempo real [8].

Asimismo, esta configuración permite que el procesamiento de eventos ocurra en el borde de la red, garantizando que las notificaciones proactivas lleguen al conductor sin las latencias típicas de los sistemas centralizados.

Consecuentemente, la visibilidad total de la última milla permite una toma de decisiones informada que estabiliza el flujo de salida de la flota bajo cualquier condición de demanda. Esto transforma la gestión logística de un modelo reactivo a uno predictivo, garantizando la eficiencia operativa y la competitividad de Aje Ecuador en el mercado regional.

C. Reis J.

La aplicación de Edge Intelligence en logística de última milla fue estudiada mediante revisión sistemática y método Delphi, evaluando el impacto de tecnologías de IA y procesamiento de datos en tiempo real sobre la eficiencia operativa en distribución [9].

Los resultados evidencian que las empresas que adoptaron estas tecnologías reportan mejoras en optimización de rutas, reducción de tiempos de entrega y mayor satisfacción del cliente, contexto directamente comparable al caso del Centro de Distribución Quito Norte, donde la ausencia de procesamiento en tiempo real genera los sobrecostos operativos identificados.

3.2. Ruteo Dinámico de Vehículos.

3.2.1. Problema de Ruteo y su Complejidad.

El problema de ruteo de vehículos (VRP) se define como un problema de optimización combinatoria que busca determinar el conjunto óptimo de rutas para una flota de vehículos que debe atender a un conjunto de clientes, minimizando el costo total de operación mientras se satisfacen diversas restricciones operativas [10].

Su complejidad pertenece a la clase NP-hard, lo que significa que no existe un algoritmo conocido que pueda resolverlo en tiempo polinomial para instancias grandes, motivando el desarrollo de enfoques heurísticos y metaheurísticos para obtener soluciones de buena calidad en tiempos computacionales razonables [11].

El ruteo dinámico de vehículos (DVRP) representa una extensión del VRP estático donde las condiciones del problema cambian durante la ejecución de las rutas, requiriendo recalculación y ajuste continuo.

En la Tabla 3 se presenta una comparativa de las tres categorías del DVRP según el nivel de conocimiento previo disponible, clasificación directamente aplicable al diseño arquitectónico del presente estudio [11].

Tabla 3. Categorías del Problema de Ruteo Dinámico de Vehículos.

Categoría	Características	Aplicación en el presente estudio
Completamente dinámico	Sin información previa, decisiones en tiempo real.	Reruteo ante congestión o punto de entrega cerrado.
Semi-dinámico	Información parcial conocida al inicio.	Asignación de rutas con ventanas de tiempo estimadas.
Dinámico con predicción	Modelos predictivos integrados al ruteo.	Anticipación de retornos mediante notificaciones proactivas.

En el contexto del CD Quito Norte, el sistema opera actualmente bajo un esquema completamente estático, las rutas se asignan manualmente al inicio de la jornada sin capacidad de ajuste, lo que impide responder a eventos imprevistos como puntos de entrega no disponibles, generando el índice de retornos del 14% identificado.

3.2.2. Algoritmos y Factores Críticos de Optimización.

Los algoritmos para resolver el DVRP se clasifican en métodos exactos y métodos aproximados. Los métodos exactos garantizan la solución óptima, pero tienen costo computacional prohibitivo para problemas de tamaño medio y grande. Por ello, las aplicaciones prácticas utilizan métodos aproximados que sacrifican la garantía de optimalidad por tiempos de ejecución razonables [11].

En la Tabla 4 se presenta una comparativa de los principales algoritmos aplicados al DVRP, destacando sus características y nivel de aplicabilidad para sistemas de ruteo en tiempo real.

Tabla 4. Comparativa de algoritmos para ruteo dinámico de vehículos.

Algoritmo	Tipo	Característica principal	Aplicabilidad en tiempo real
Clarke & Wright	Heurístico constructivo	Agrega clientes por criterio de ahorro en distancia.	Alta, bajo costo computacional.
Búsqueda tabú adaptativa	Metaheurístico	Memoria de soluciones visitadas, evita óptimos locales.	Alta, soluciones en segundos.
Algoritmos genéticos	Metaheurístico evolutivo	Representación cromosómica de rutas.	Media, requiere más tiempo de convergencia.

El algoritmo de Clarke y Wright es especialmente relevante para el presente estudio por su bajo costo computacional, que permite insertar dinámicamente nuevos puntos de entrega o eliminar retornos en rutas ya asignadas sin interrumpir la operación en curso [12].

Para una flota como la del CD Quito Norte, donde los conductores atienden múltiples puntos por jornada, esta capacidad de ajuste dinámico es determinante para reducir el índice de retornos identificado.

Entre los factores críticos que condicionan la eficiencia del ruteo dinámico destacan los datos de tráfico en tiempo real, las ventanas de tiempo de atención, la capacidad de carga de los vehículos y la confirmación previa de disponibilidad en los puntos de entrega [11].

Este último factor es particularmente relevante en el caso Aje Group, ya que la ausencia de un mecanismo de confirmación previa es una de las causas directas de las entregas no efectivas registradas.

3.3. Internet de las Cosas (IoT) en Gestión de Flotas.

3.3.1. Arquitectura y Dispositivos IoT.

El Internet de las Cosas se define como un paradigma tecnológico que permite la interconexión de objetos físicos equipados con sensores, actuadores y capacidades de comunicación, formando una red que facilita la recopilación, procesamiento y compartición de datos en tiempo real [13].

En gestión de flotas, IoT transforma dispositivos convencionales, incluyendo smartphones, en nodos inteligentes capaces de generar y transmitir información valiosa sobre la operación del vehículo.

Una vez que los datos son capturados por los nodos IoT, su procesamiento puede ocurrir en distintos niveles de la infraestructura tecnológica. En la arquitectura propuesta para Aje Ecuador, el smartphone del conductor concentra el procesamiento local mediante Edge Computing, mientras que Firebase actúa como plataforma central en la nube. La comparativa detallada de estos paradigmas de procesamiento se desarrolla en la sección 3.4, donde se analiza su integración en el sistema propuesto.

La transmisión hacia la nube ocurre a través de internet mediante protocolos ligeros, garantizando sincronización cuando hay cobertura disponible [14].

En la Tabla 5 se presenta la arquitectura de cuatro capas del sistema IoT propuesto, con los componentes específicos de cada interfaz de usuario definida para la operación del CD Quito Norte.

Tabla 5. Arquitectura IoT de cuatro capas aplicada al sistema de ruteo Aje Ecuador.

Capa	Función	Componente en Aje Ecuador
Percepción	Captura de datos: GPS, estado de entrega, eventos operativos.	Smartphone del conductor (nodo IoT móvil — Edge).
Red	Conectividad a internet: 4G/5G, Wi-Fi.	Red móvil del operador en Ecuador.
Procesamiento	Análisis y almacenamiento en la nube.	Firebase Cloud — servidor central.
Aplicación	Interfaces de usuario según rol.	App conductor + App despachador + Panel supervisor.

3.3.2 Protocolos de Comunicación IoT.

La selección del protocolo de comunicación determina la eficiencia y confiabilidad en la transmisión de datos entre los smartphones de los conductores y el servidor central en la nube. La arquitectura del presente estudio opera sobre internet mediante conexión 4G/5G, utilizando HTTP/HTTPS como protocolo estándar de comunicación entre la aplicación móvil desarrollada en FlutterFlow y los servicios de Firebase.

En la Tabla 6 se presenta una comparativa de los principales protocolos de comunicación IoT, identificando el rol específico de cada uno en la arquitectura del sistema propuesto.

Tabla 6. Comparativa de protocolos de comunicación IoT para el sistema Aje Ecuador.

Protocolo	Modelo	Transporte	Fortaleza principal	Rol en Aje Ecuador
HTTP/HTTPS	Request/Response	TCP/IP	Estándar universal, compatible con todos los servicios web.	Principal comunicación app FlutterFlow con Firebase y Google Maps API.
MQTT	Publicación/suscripción	TCP/IP	Bajo overhead para telemetría continua.	No aplica en la arquitectura actual.
CoAP	REST optimizado	UDP	Sensores con recursos muy limitados.	No aplica el smartphone tiene capacidad completa.

HTTP/HTTPS es el protocolo que sustenta la comunicación de la aplicación móvil con los servicios en la nube, siendo el estándar de facto para la integración entre aplicaciones FlutterFlow y plataformas como Firebase Realtime Database, Firebase Authentication y Google Maps Platform [15].

Toda la transmisión de datos operativos, posición GPS, estado de actividades, notificaciones y sincronización de rutas, se realiza a través de conexiones HTTPS seguras sobre la red móvil 4G/5G disponible en Quito, garantizando cifrado en tránsito y compatibilidad universal con los servicios integrados en la arquitectura [16].

3.4. Edge Computing en Sistemas de Transporte Inteligentes.

3.4.1. Paradigma y Procesamiento Distribuido.

Edge Computing es un paradigma de computación distribuida donde el procesamiento de datos se realiza en la periferia de la red, cerca de las fuentes de datos, en lugar de enviar todos los datos a centros de datos centralizados en la nube [17].

Este enfoque es especialmente relevante para aplicaciones de tiempo real que requieren baja latencia, reducción del ancho de banda consumido y operación confiable ante desconexiones de red, condiciones presentes en la operación de flotas de distribución urbana. La capacidad de procesar datos en el borde de la red permite que los sistemas respondan de manera inmediata sin depender exclusivamente de la conectividad con servidores remotos, lo cual resulta crítico en entornos donde la continuidad operativa no puede verse comprometida por fallas en la infraestructura de comunicaciones.

Para comprender el rol del Edge Computing en la arquitectura propuesta, es necesario diferenciarlo de los paradigmas relacionados con los cuales coexiste. Cada uno de estos modelos de procesamiento distribuido presenta características técnicas particulares que determinan su idoneidad según el contexto de aplicación, por lo que su análisis comparativo permite justificar la elección arquitectónica adoptada en el presente trabajo.

En la Tabla 7 se presenta una comparativa de los tres paradigmas de procesamiento distribuido, identificando sus características y el rol específico de cada uno en el sistema Aje Ecuador.

Dicha comparativa permite visualizar de forma estructurada las diferencias en términos de latencia, capacidad de procesamiento, dependencia de red y escalabilidad, facilitando así la comprensión integral de la solución tecnológica implementada.

Tabla 7. Comparativa de paradigmas de procesamiento distribuido en la arquitectura Aje Ecuador.

Paradigma	Dónde procesa	Latencia	Dependencia de red	Rol en Aje Ecuador
Cloud Computing.	Servidores remotos en la nube.	Alta	Total	Firebase: almacenamiento central, historial de rutas, panel supervisor web.
Edge Computing.	En el dispositivo final.	Muy baja	Ninguna	Smartphone del conductor: lógica de app, GPS, estado de entrega, operación offline.
Fog Computing.	Nodo intermedio entre dispositivo y nube.	Media	Parcial	No aplica en la arquitectura actual — el smartphone se conecta directo a la nube vía internet.

El Edge Computing en el contexto del presente estudio se implementa directamente en el smartphone del conductor, que ejecuta la aplicación desarrollada en FlutterFlow y gestiona localmente el estado operativo de cada entrega. La nube centralizada en Firebase recibe los datos procesados desde cada dispositivo, sincronizando la información hacia las tres interfaces del sistema: la aplicación del conductor, la aplicación del despachador y el panel supervisor web [18].

3.4.2. Integración Edge-Cloud.

La integración efectiva entre Edge Computing y Cloud Computing requiere una arquitectura bien diseñada que determine qué procesamiento ocurre en cada nivel, estableciendo criterios claros de distribución de carga según la criticidad y la urgencia de cada tarea. Esta delimitación funcional no solo optimiza el rendimiento global del sistema, sino que también garantiza un uso eficiente de los recursos disponibles, reduciendo costos operativos y mejorando la resiliencia ante posibles fallos en cualquiera de las capas de la infraestructura tecnológica.

En la Tabla 8 se presenta la distribución de responsabilidades entre el dispositivo edge, el smartphone y la nube Firebase en la arquitectura del sistema propuesto para Aje Ecuador.

Tabla 8. Distribución de procesamiento Edge-Cloud en el sistema Aje Ecuador.

Función	Nivel de procesamiento	Justificación
Captura de GPS y posición	Edge smartphone	Requiere acceso inmediato al sensor, sin latencia.
Lógica de confirmación de entrega.	Edge smartphone	Debe funcionar con conectividad limitada.
Sincronización de rutas asignadas.	Cloud Firebase	Requiere consistencia entre conductor y despachador
Notificaciones proactivas.	Cloud Firebase Cloud Messaging	Depende de servidor central para broadcast.
Panel supervisor en tiempo real.	Cloud Firebase	Consolida datos de toda la flota
Historial y reportes operativos.	Cloud Firebase	Almacenamiento persistente centralizado.

Esta distribución garantiza que el conductor pueda operar la aplicación incluso en zonas con cobertura móvil irregular, registrando entregas y retornos localmente en el dispositivo y sincronizando automáticamente con Firebase cuando se restablece la conexión [17].

Para el CD Quito Norte, donde las rutas cubren zonas urbanas de Quito con variabilidad en la señal 4G, esta capacidad de operación offline es un factor crítico de confiabilidad del sistema.

3.5. Sistemas de Notificaciones Proactivas en Tiempo Real.

3.5.1. Arquitecturas de Notificaciones Push.

Firebase Cloud Messaging (FCM) es la plataforma seleccionada para el sistema de notificaciones del presente estudio, por su integración nativa con FlutterFlow y Firebase, su compatibilidad con Android e iOS y su operación sin costo adicional dentro del ecosistema Firebase [19].

FCM distingue dos tipos de mensajes: notificaciones de visualización que se muestran automáticamente al usuario, y mensajes de datos procesados por la aplicación en segundo plano.

En la arquitectura del sistema Aje Ecuador, los eventos críticos se implementan como mensajes de datos, permitiendo que la aplicación ejecute lógica de negocio incluso cuando está en segundo plano sin requerir interacción del usuario [19].

En la Tabla 9 se presenta una comparativa de los eventos operativos registrados en Firebase que disparan notificaciones en el sistema, identificando el campo de la base de datos, su descripción, el destinatario y el impacto sobre los indicadores del CD Quito Norte.

Tabla 9. Eventos operativos registrados en Firebase que disparan notificaciones en el sistema Aje Ecuador.

Campo Firebase	Descripción	Destinatario	Impacto en KPI
estado_texto	Estado de la entrega: Completada / Pendiente / Retorno.	Despachador y supervisor.	Control directo del índice de retornos.
diferencia_minutos	Diferencia entre tiempo estimado y real de ruta.	Despachador.	Detecta retrasos acumulados que afectan TAT.
estado_comparativa	Indica si el conductor tardó más o menos de lo estimado.	Supervisor.	Monitoreo de eficiencia por conductor.
ruta_completada	Confirma si la ruta del día fue completada.	Supervisor.	Cierre de jornada operativa.
total_puntos	Total de puntos de entrega asignados en la ruta.	Despachador.	Base para calcular índice de retornos del día.
orden_optimizado	Confirma si la ruta fue optimizada antes de salir.	Despachador.	Valida que no salió con ruta manual.

Estos campos son generados y actualizados en tiempo real por Firebase a medida que los conductores ejecutan sus rutas, permitiendo que el despachador y el supervisor monitoreen el estado de toda la flota desde sus respectivas interfaces sin necesidad de comunicación telefónica manual, que es el mecanismo actual utilizado en el CD Quito Norte.

3.5.2 Estrategias Proactivas y Gestión de Prioridades

La convergencia entre notificaciones push y dispositivos IoT introduce desafíos relacionados con el volumen y la frecuencia de los eventos generados por los sensores del smartphone. En un sistema de gestión de flotas, el dispositivo de cada conductor genera continuamente eventos de geolocalización y estado operativo que deben ser filtrados y priorizados antes de disparar una notificación [20].

Un sistema sin filtrado generaría sobrecarga cognitiva en el despachador y el supervisor, reduciendo la efectividad operativa del sistema durante la jornada.

En la Tabla 10 se presenta la clasificación de prioridades de notificación implementada en la arquitectura del sistema, basada en el impacto de cada evento sobre los indicadores operativos del CD Quito Norte.

Tabla 10. Clasificación de prioridades de notificación en el sistema Aje Ecuador.

Prioridad	Evento	Impacto en KPI	Comportamiento en app
Crítica	Desviación de ruta detectada.	Riesgo directo de retorno.	Alerta con sonido — requiere acción del despachador.
Alta	Retraso por tráfico superior a 15 min.	Afecta TAT y costo por caja.	Notificación visible al conductor y despachador.
Media	Camión inactivo en horario operativo.	Afecta hora de salida meta 07:30.	Notificación al supervisor.
Informativa	Actualización de posición GPS.	Monitoreo continuo de flota.	Actualización silenciosa en mapa — sin interrupción.

Esta clasificación garantiza que las interrupciones activas ocurran únicamente ante eventos que impactan directamente los indicadores operativos, mientras el monitoreo continuo de la flota se ejecuta de forma silenciosa en segundo plano. El sistema está diseñado para su fase inicial sin notificaciones hacia clientes finales, funcionalidad que podrá incorporarse en versiones futuras de la arquitectura para confirmación previa de disponibilidad en puntos de entrega.

3.6 Arquitecturas de Aplicaciones Móviles.

3.6.1 Patrones Arquitectónicos y Desarrollo Multiplataforma.

La arquitectura de una aplicación móvil determina cómo sus componentes se organizan, comunican y escalan. Los principales patrones arquitectónicos utilizados en aplicaciones empresariales incluyen la arquitectura de capas, la arquitectura orientada a eventos, la arquitectura de microservicios y la arquitectura hexagonal [21].

Para aplicaciones de gestión de flotas, la arquitectura orientada a eventos es particularmente apropiada debido a la naturaleza asíncrona de las actualizaciones de posición, cambios de estado de entrega y eventos operacionales que ocurren de forma continua durante la jornada de distribución.

En la Tabla 11 se presenta una comparativa de los patrones arquitectónicos evaluados para el sistema Aje Ecuador, identificando sus características y el nivel de idoneidad para los requerimientos del sistema de ruteo dinámico.

Tabla 11. Comparativa de patrones arquitectónicos evaluados para el sistema Aje Ecuador.

Patrón	Característica principal	Escalabilidad	Idoneidad para el sistema
Capas (Layered)	Separación en niveles: presentación, lógica, datos.	Media	Media rígida para eventos en tiempo real.
Orientada a eventos (Event-driven)	Comunicación asíncrona entre componentes.	Alta	Alta ideal para actualizaciones en tiempo real.
Microservicios	Servicios independientes y desacoplados.	Muy alta	Media excesiva para el alcance actual.
Hexagonal	Separación de lógica de negocio e infraestructura.	Alta	Media mayor complejidad de implementación.

La arquitectura orientada a eventos fue seleccionada como base del sistema Aje Ecuador, ya que permite que cada acción operativa del conductor genere eventos que Firebase propaga instantáneamente hacia las demás interfaces del sistema sin necesidad de consultas periódicas. Este enfoque reduce la latencia percibida por el despachador y el supervisor, quienes visualizan cambios en tiempo real sin recargar sus interfaces [21].

FlutterFlow es la plataforma de desarrollo low-code seleccionada para la construcción de la aplicación, basada en el framework Flutter de Google [22].

Flutter utiliza el lenguaje Dart y permite generar aplicaciones nativas para Android, iOS y web desde una única base de código, lo que resulta en las tres interfaces del sistema app conductor, app despachador y panel supervisor web, desarrolladas y mantenidas desde un único proyecto [23].

En la Tabla 12 se presenta una comparativa de las tres interfaces desarrolladas, identificando su audiencia, funciones principales y plataforma de despliegue, permitiendo visualizar de forma estructurada cómo cada módulo responde a las necesidades específicas de los distintos actores del sistema y sus roles dentro del flujo logístico.

Tabla 12. Comparativa de interfaces del sistema Aje Ecuador.

Interfaz	Usuario	Plataforma	Funciones principales
App Conductor	Conductor del camión.	Android (smartphone)	Visualizar ruta asignada, confirmar entregas, registrar retornos, ver tráfico en tiempo real.
App Despachador	Despachador del CD.	Android / iOS	Asignar rutas, monitorear flota en mapa, recibir alertas de retornos y desvíos.
Panel Supervisor	Supervisor logístico.	Web (navegador)	Dashboard de KPIs, historial de rutas, análisis de retornos, reporte de costos.

3.6.2 Integración con Servicios Backend.

Firestore actúa como el backend centralizado del sistema, proporcionando sincronización de datos en tiempo real entre las tres interfaces mediante WebSockets que mantienen conexiones persistentes y transmiten cambios instantáneamente [24].

Esta arquitectura elimina la necesidad de polling y garantiza que el despachador y el supervisor visualicen el estado de la flota con mínima latencia. Firestore Realtime Database almacena los eventos operativos generados por cada smartphone conductor, incluyendo los campos identificados en la sección 3.5: estado_texto, diferencia_minutos, estado_comparativa, ruta_completada, total_puntos y orden_optimizado.

En la Tabla 13 se presenta la estructura de servicios Firestore utilizados en la arquitectura del sistema, identificando la función de cada componente y su rol en la operación del CD Quito Norte.

Tabla 13. Servicios Firestore utilizados en la arquitectura del sistema Aje Ecuador.

Servicio Firestore	Función	Rol en el sistema Aje Ecuador
Realtime Database	Almacenamiento y sincronización NoSQL en tiempo real.	Registro de eventos operativos: entregas, retornos, posiciones, tiempos.
Authentication	Gestión de identidad y acceso por roles.	Control de acceso diferenciado: conductor, despachador, supervisor.
Cloud Messaging (FCM)	Envío de notificaciones push.	Alertas operativas entre los tres actores del sistema.
Cloud Functions	Lógica serverless en la nube.	Cálculo automático de diferencia_minutos y estado_comparativa.
Hosting	Despliegue del panel supervisor web.	Panel web accesible desde cualquier navegador sin instalación.

La integración entre FlutterFlow y Firebase se realiza de forma nativa, sin código adicional para la sincronización básica de datos, lo que aceleró significativamente el desarrollo del sistema y redujo la complejidad técnica de implementación.

Firestore garantiza disponibilidad offline mediante caché local que se sincroniza automáticamente cuando se restablece la conectividad, aspecto crítico para la operación en zonas de Quito con cobertura 4G irregular [24].

3.7 Integración de APIs de Mapas y Tráfico.

3.7.1. Google Maps Platform y su Aplicación en Ruteo Logístico.

Google Maps Platform proporciona un conjunto de APIs para integrar funcionalidad de mapas, geocodificación, direcciones y tráfico en aplicaciones móviles y web [25].

En el contexto de sistemas de distribución, la integración de Google Maps con algoritmos de optimización permite visualizar y monitorear en tiempo real las rutas asignadas a cada vehículo, comparando el recorrido planificado contra el ejecutado [26].

Google Maps Platform constituye un conjunto de servicios que permite integrar funcionalidades de mapas interactivos, geolocalización, cálculo de rutas y datos de tráfico en tiempo real dentro de aplicaciones móviles y web. Su amplia adopción en sistemas logísticos se debe a su precisión, cobertura global y facilidad de integración.

En el contexto de distribución urbana, resulta especialmente útil para visualizar las rutas asignadas a cada vehículo y monitorear su ejecución, permitiendo detectar desviaciones respecto al recorrido planificado. La combinación con algoritmos de optimización potencia la toma de decisiones operativas, ya que los gestores pueden comparar la ruta teórica contra la real e intervenir oportunamente.

Adicionalmente, el acceso a información de tráfico actualizada permite ajustar dinámicamente los recorridos para evitar congestionamientos y reducir los tiempos de entrega, contribuyendo directamente a mejorar la eficiencia logística y reducir costos operativos.

En la Tabla 14 se presenta una descripción de las APIs y claves de Google Maps Platform utilizadas en la arquitectura del sistema, identificando la función teórica de cada una.

Tabla 14. APIs de Google Maps Platform y claves de autenticación en sistemas de gestión logística.

API / Clave	Función
Directions API	Calcula rutas entre múltiples puntos considerando tráfico en tiempo real y optimización de waypoints.
Routes API	Versión avanzada de Directions, proporciona rutas más precisas con mayor detalle de tráfico y condiciones viales.
Geocoding API	Convierte direcciones de texto en coordenadas geográficas y viceversa.
Places API	Permite búsqueda y validación de puntos de interés, direcciones y ubicaciones específicas.
Maps SDK for Android	SDK nativo para renderización de mapas interactivos en aplicaciones Android.
Maps SDK for iOS	SDK nativo para renderización de mapas interactivos en aplicaciones iOS.
Maps JavaScript API	Permite integrar mapas interactivos en aplicaciones web mediante JavaScript.
iOS key (auto creada por Firebase)	Clave de autenticación generada automáticamente por Firebase para consumo de APIs en plataforma iOS.
Android key (auto creada por Firebase)	Clave de autenticación generada automáticamente por Firebase para consumo de APIs en plataforma Android.
Browser key (auto creada por Firebase)	Clave de autenticación generada automáticamente por Firebase para consumo de APIs desde navegador web.

La gestión automática de claves por parte de Firebase garantiza que cada plataforma que Android, iOS y web, utilice credenciales independientes y correctamente restringidas, reduciendo el riesgo de uso no autorizado de las APIs y simplificando la administración de seguridad del sistema [25].

Este mecanismo se conecta directamente con los fundamentos de seguridad desarrollados en la sección 3.8.

3.7.2. Tráfico en Tiempo Real e Impacto en Ruteo Dinámico.

Los datos de tráfico en tiempo real de Google Maps provienen de múltiples fuentes: GPS de vehículos con Google Maps activo, datos de operadores móviles y sensores en carreteras, actualizándose continuamente para reflejar las condiciones viales actuales [25].

En sistemas de gestión de flotas, la disponibilidad de datos de tráfico en tiempo real es determinante para la precisión en la estimación de tiempos de entrega y la capacidad de reruteo dinámico ante eventos imprevistos como congestión o cierres viales [26].

La Routes API representa la evolución más reciente de las capacidades de ruteo de Google Maps Platform, ofreciendo mayor precisión en la estimación de tiempos de viaje y soporte para optimización de múltiples destinos considerando condiciones de tráfico actuales y predichas [27].

Esta capacidad es directamente relevante para el caso Aje Ecuador, donde la variabilidad en las condiciones de tráfico urbano de Quito impacta directamente el TAT y el costo por caja distribuida, generando los sobrecostos operativos identificados en la formulación del problema.

3.8. Seguridad en Aplicaciones Móviles Empresariales.

3.8.1. Autenticación y Autorización.

La autenticación verifica la identidad de un usuario antes de concederle acceso al sistema, mientras que la autorización determina qué acciones puede realizar ese usuario una vez autenticado. En aplicaciones empresariales con múltiples roles de usuario, la distinción entre ambos conceptos es fundamental para garantizar que cada actor del sistema acceda únicamente a las funciones correspondientes a su perfil operativo [28].

OAuth 2.0 es el estándar de facto para autorización en aplicaciones modernas, proporcionando acceso delegado mediante tokens sin compartir credenciales directamente entre servicios [28].

Este marco define roles claros, servidor de autorización, servidor de recursos y cliente, separando la verificación de identidad del acceso a los recursos, lo que mejora tanto la seguridad como la escalabilidad del sistema. En aplicaciones de gestión de flotas como la propuesta para Aje Group, OAuth 2.0 permite que cada rol, conductor, despachador y supervisor opere con tokens de acceso diferenciados que restringen el alcance de las operaciones disponibles.

Firebase Authentication implementa este modelo de control de acceso para aplicaciones móviles, proporcionando SDKs nativos para múltiples plataformas y soporte para proveedores de identidad estándar [29].

Firebase Authentication gestiona la complejidad de los flujos de autenticación y genera tokens compatibles con los servicios Firebase, permitiendo aplicar reglas de seguridad directamente sobre la base de datos según el rol del usuario autenticado.

En la Tabla 15 se presenta una comparativa de los modelos de control de acceso más utilizados en aplicaciones móviles empresariales.

Tabla 15. Comparativa de modelos de control de acceso en aplicaciones móviles empresariales.

Modelo	Descripción	Idoneidad para sistemas de flotas
Control de acceso basado en roles (RBAC).	Permisos asignados según el rol del usuario en la organización.	Alta, conductor, despachador y supervisor tienen funciones claramente diferenciadas.
Control de acceso discrecional (DAC).	El propietario del recurso decide quién puede acceder.	Baja, no escala bien en sistemas con múltiples usuarios concurrentes.
Control de acceso obligatorio (MAC).	Permisos definidos por políticas centralizadas del sistema.	Media, adecuado para datos clasificados pero excesivamente rígido para operaciones logísticas.

3.8.2. Cifrado y Protección de Datos.

El cifrado de datos en tránsito mediante TLS es el mecanismo estándar para proteger la comunicación entre aplicaciones móviles y servidores en la nube [30].

TLS garantiza tres propiedades fundamentales en la transmisión de datos: confidencialidad mediante cifrado simétrico, integridad mediante códigos de autenticación de mensajes, y autenticación del servidor mediante certificados digitales. Estas propiedades son críticas en

sistemas de gestión logística donde se transmiten datos operativos sensibles como posiciones GPS, estados de entregas y credenciales de acceso a través de redes móviles públicas.

HTTPS implementa TLS sobre HTTP, siendo el protocolo estándar para la comunicación segura entre aplicaciones móviles y servicios REST en la nube [30].

En sistemas de gestión de flotas conectados a plataformas como Firebase y Google Maps Platform, HTTPS garantiza que los datos operativos transmitidos entre los dispositivos móviles de los conductores y el servidor central no puedan ser interceptados ni modificados durante la transmisión, independientemente de la red móvil utilizada.

En la Tabla 16 se presenta una comparativa de los mecanismos de seguridad aplicables en cada capa de una arquitectura móvil empresarial conectada a servicios en la nube.

Tabla 16. Mecanismos de seguridad por capa en arquitecturas móviles empresariales.

Capa	Amenaza principal	Mecanismo de protección	Estándar aplicable
Autenticación de usuarios.	Acceso no autorizado al sistema.	Control de acceso por roles.	OAuth 2.0 / Firebase Authentication.
Comunicación app-servidor.	Interceptación de datos en tránsito.	Cifrado de la comunicación.	HTTPS / TLS 1.3.
Comunicación con APIs externas.	Uso no autorizado de servicios.	Restricción de claves por plataforma.	API Keys restringidas por origen.
Almacenamiento en la nube.	Acceso no autorizado a la base de datos.	Reglas de seguridad basadas en roles.	Firebase Security Rules.

La aplicación de estos mecanismos de seguridad en sistemas de gestión logística como el propuesto para Aje Group es determinante para garantizar la integridad de los datos operativos y la continuidad del servicio, protegiendo tanto la información de las rutas de distribución como las credenciales de acceso del personal operativo [28].

3.8.3. Vulnerabilidades y Mejores Prácticas.

El OWASP Mobile Top 10 identifica las vulnerabilidades más críticas en aplicaciones móviles, proporcionando un marco de referencia para desarrolladores y profesionales de seguridad orientado a mejorar la seguridad de las aplicaciones móviles [31].

En la Tabla 17 se presenta una síntesis de las principales vulnerabilidades del OWASP Mobile Top 10 2024 relevantes para sistemas de gestión logística como el propuesto para Aje Group, identificando su descripción y el mecanismo de mitigación correspondiente.

Tabla 17. Vulnerabilidades OWASP Mobile Top 10 2024 relevantes para sistemas de gestión logística.

Categoría	Vulnerabilidad	Riesgo en sistemas de flotas	Mecanismo de mitigación
M1	Uso impropio de plataforma.	Mal uso de permisos de GPS o cámara del smartphone.	Solicitar solo los permisos estrictamente necesarios.
M2	Almacenamiento inseguro de datos.	Exposición de rutas, facturas o credenciales almacenadas localmente.	Cifrado de datos locales en el dispositivo.
M3	Comunicación insegura.	Interceptación de posiciones GPS o estados de entrega en tránsito.	HTTPS / TLS en toda comunicación app-servidor.
M4	Autenticación insegura.	Acceso no autorizado a rutas o datos de otros conductores.	OAuth 2.0 + Firebase Authentication con roles.

El uso impropio de plataforma ocurre cuando una aplicación no sigue las directrices de seguridad publicadas por Android o iOS, permitiendo un uso no intencionado que puede comprometer la seguridad del sistema. [31].

En sistemas de gestión logística, este riesgo se manifiesta principalmente en el manejo inadecuado de permisos de geolocalización, que es el sensor central del sistema propuesto para Aje Group.

La validación de entrada es un principio fundamental para prevenir múltiples tipos de ataque en aplicaciones conectadas a servicios en la nube [30].

Toda entrada de usuario debe ser validada tanto en el cliente como en el servidor, ya que la validación únicamente en el cliente puede ser eludida mediante herramientas de depuración.

Las APIs backend deben implementar mecanismos de control de tasa de solicitudes para prevenir el abuso del servicio, rechazando peticiones excesivas desde un mismo origen y garantizando la disponibilidad del sistema durante la jornada operativa de distribución. Este tipo de control resulta fundamental en entornos de alta concurrencia, donde múltiples dispositivos y usuarios acceden simultáneamente al sistema, asegurando que los recursos del

servidor se distribuyan equitativamente y que ningún proceso individual comprometa el rendimiento general de la plataforma.

3.9. Análisis Costo-Beneficio de Soluciones Tecnológicas.

3.9.1. Metodologías de Evaluación Económica.

El análisis costo-beneficio es el proceso sistemático y analítico de comparar costos y beneficios para evaluar la conveniencia de un proyecto, intentando responder si una propuesta es viable, cuál es su escala óptima y cuáles son las restricciones relevantes para su adopción [32].

En proyectos tecnológicos, los costos típicamente incluyen desarrollo, hardware, licencias, capacitación y mantenimiento, mientras los beneficios abarcan reducción de costos operativos, incremento de eficiencia y mejoras en la calidad del servicio.

En la Tabla 18 se presenta una comparativa de los principales indicadores financieros utilizados para evaluar la viabilidad económica de proyectos tecnológicos en el ámbito logístico.

Tabla 18. Indicadores financieros para evaluación de proyectos tecnológicos logísticos.

Indicador	Fórmula	Interpretación	Umbral referencial para TI
Retorno de Inversión (ROI).	$(\text{Beneficio Neto} / \text{Costo de Inversión}) \times 100\%$.	Rentabilidad de la inversión como porcentaje.	ROI > 25% anual: excelente.
Período de Recuperación.	Inversión Inicial / Beneficio Neto Anual.	Tiempo para recuperar la inversión inicial.	Menor a 2 años: atractivo.
Valor Actual Neto (VAN).	Suma de flujos futuros descontados — inversión inicial.	Valor presente de los beneficios netos	VAN > 0: viable.
Tasa Interna de Retorno (TIR).	Tasa que hace VAN = 0.	Rentabilidad intrínseca del proyecto.	TIR > tasa de descuento: viable.

El ROI es el indicador más utilizado en evaluaciones de proyectos de tecnología de la información por su simplicidad de cálculo e interpretación [33].

Un ROI positivo indica que los beneficios superan los costos, mientras que el período de recuperación complementa este análisis indicando en cuánto tiempo la organización recupera

la inversión realizada, aspecto crítico en entornos empresariales donde el retorno rápido es prioritario.

3.9.2 Costos de Implementación y Beneficios Operativos

Los costos de soluciones tecnológicas basadas en IoT se categorizan en dos tipos: CAPEX y OPEX [32].

El CAPEX comprende los gastos de capital iniciales como desarrollo de software, dispositivos y configuración de infraestructura, mientras el OPEX incluye los gastos operativos recurrentes como conectividad, servicios en la nube, mantenimiento y soporte.

En la Tabla 19 se presenta una comparativa de estas categorías de costos aplicadas a sistemas de gestión de flotas basados en IoT.

Tabla 19. Categorías de costos CAPEX y OPEX en sistemas IoT para gestión de flotas.

Categoría	Tipo	Componentes típicos	Aplicación en sistemas móviles IoT
CAPEX	Gasto de capital único	Desarrollo de aplicación, configuración de plataformas, capacitación inicial.	Desarrollo en FlutterFlow, configuración Firebase y Google Maps.
OPEX	Gasto operativo recurrente	Servicios cloud, conectividad, mantenimiento, actualizaciones.	Costos mensuales Firebase, Google Maps API, plan de datos móviles.

Los beneficios de sistemas de ruteo dinámico en empresas de distribución se manifiestan en múltiples dimensiones cuantificables [33].

La reducción del índice de retornos impacta directamente los ingresos al eliminar los costos dobles de distribución fallida. La optimización de rutas reduce el consumo de combustible y el tiempo operativo por jornada. La automatización de la asignación de rutas elimina los retrasos en la salida de flotas, mejorando el TAT y reduciendo el costo por unidad distribuida.

En el caso de Aje Group, donde el índice de retornos actual es del 14% sobre 8.500 cajas diarias y el costo por caja supera en hasta un 32% el objetivo operativo, la cuantificación de estos beneficios potenciales constituye la base del análisis de factibilidad económica desarrollado en el presente estudio.

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.

4.1. Tipo y Enfoque de Investigación.

El presente estudio integra tres tipos de investigación que se complementan para abordar integralmente la problemática identificada. La investigación aplicada orienta el trabajo hacia la resolución de un problema operativo concreto mediante el diseño de una solución tecnológica sustentada en conocimiento teórico existente. La investigación descriptiva permite caracterizar con rigor cuantitativo y cualitativo la situación actual del proceso de distribución, documentando su estructura, actores, indicadores y causas de ineficiencia.

La investigación experimental valida la factibilidad técnica de la arquitectura propuesta mediante el desarrollo de un prototipo funcional sometido a condiciones reales de operación, antes de recomendar su implementación definitiva.

Este enfoque híbrido es pertinente porque la naturaleza del problema exige tanto la comprensión profunda de la realidad operativa alcanzada mediante la investigación descriptiva como la demostración práctica de la solución propuesta lograda mediante la investigación experimental, garantizando que los resultados sean aplicables y verificables en el contexto específico del caso de estudio.

4.2. Métodos de Investigación.

La generación de conocimiento en el presente proyecto se apoya en tres métodos científicos que operan de forma articulada a lo largo de las fases del proyecto. El método inductivo se aplica en la fase de diagnóstico: a partir de la observación sistemática de casos particulares de entregas fallidas y sus causas documentadas, se identifican patrones recurrentes que permiten construir conclusiones generalizables sobre las condiciones estructurales que generan ineficiencia en sistemas de distribución sin soporte tecnológico. Este método es pertinente porque el problema se manifiesta en eventos operativos concretos y repetibles que requieren ser observados antes de ser explicados.

El método deductivo opera en la fase de diseño de la arquitectura: partiendo de los principios teóricos establecidos en el marco teórico, ruteo dinámico de vehículos, IoT, Edge Computing y arquitecturas de aplicaciones móviles se derivan los requisitos funcionales y no funcionales específicos que debe cumplir el sistema propuesto. Este método garantiza que la solución diseñada esté fundamentada en conocimiento validado y no en supuestos empíricos.

El método analítico-sintético articula ambas fases: descompone el proceso de distribución actual en sus etapas constitutivas para identificar con precisión los puntos de fallo y, posteriormente, los reintegra en el diseño del proceso mejorado que opera con el sistema propuesto.

4.3. Metodología Ágil Scrum.

El desarrollo del proyecto se gestiona mediante el marco ágil Scrum, cuya adopción se justifica por la naturaleza iterativa e incremental del trabajo: cada sprint produce un entregable verificable que puede ser evaluado antes de continuar con el siguiente ciclo, permitiendo incorporar retroalimentación operativa de forma continua y reduciendo el riesgo de desarrollar funcionalidades que no respondan a las necesidades reales del área de logística [34].

Scrum define tres roles principales y un rol complementario. El Product Owner es el responsable de definir y priorizar las funcionalidades del sistema en el Product Backlog, garantizando que cada incremento agregue valor operativo medible. El Scrum Master facilita la correcta aplicación del marco, elimina impedimentos y conduce las ceremonias del proceso: Sprint Planning, Daily Scrum, Sprint Review y Sprint Retrospective. El Developer ejecuta las tareas definidas en el Sprint Backlog, construyendo los incrementos funcionales en cada ciclo. El Stakeholder es el actor clave del negocio que valida en cada Sprint Review que los entregables responden a las necesidades operativas identificadas en el diagnóstico.

A continuación, la Tabla 20 presenta de manera detallada cada uno de los roles definidos dentro del marco de trabajo Scrum, describiendo su función principal dentro del proyecto, así como el tipo de entregable que se espera como resultado de su participación activa durante el desarrollo.

Tabla 20. Roles Scrum definidos para el proyecto.

Rol	Descripción	Entregable esperado
Product Owner	Define y prioriza el Product Backlog. Es el responsable de que las funcionalidades desarrolladas respondan a las necesidades operativas identificadas en el diagnóstico.	Product Backlog priorizado, criterios de aceptación por sprint y validación de que cada incremento cumple los requisitos funcionales definidos.
Scrum Master	Facilita la correcta aplicación del marco Scrum, elimina impedimentos del proceso y guía las ceremonias: Sprint Planning, Daily, Review y Retrospectiva.	Proceso Scrum ejecutado correctamente, impedimentos resueltos y calidad metodológica garantizada en cada ciclo.
Developer	Ejecuta las tareas del Sprint Backlog: diseño de arquitectura, desarrollo del prototipo funcional e integración de servicios tecnológicos.	Incrementos funcionales verificables al final de cada sprint: desde el diagnóstico hasta el prototipo validado y el análisis económico.
Stakeholder	Actor clave del negocio que participa en las Sprint Review para validar que los incrementos responden a las necesidades operativas reales del área de logística.	Retroalimentación operativa en cada Sprint Review que orienta las prioridades del siguiente ciclo.

La Metodología Scrum se aplica específicamente para el desarrollo del **Objetivo Específico 2**, que corresponde al diseño e implementación del sistema tecnológico y constituye el componente más amplio del proyecto. Este objetivo se estructura en cuatro sprints de tres semanas cada uno, totalizando doce semanas de ejecución, equivalentes a tres meses de desarrollo.

Esta duración de sprint es apropiada para el desarrollo en FlutterFlow, plataforma low-code que permite ciclos más cortos que el desarrollo tradicional al eliminar la necesidad de configurar hardware externo y protocolos de comunicación complejos.

La Tabla 21 presenta la estructura de sprints con su correspondencia al Objetivo Específico 2 y los entregables esperados al final de cada ciclo.

Tabla 21. Estructura de sprints del proyecto.

Sprint	Semanas	Objetivo específico	Entregable principal
Sprint 1	1 – 3	OE2 - Diagnóstico y Requisitos.	Requisitos funcionales y no funcionales levantados, modelo de datos inicial definido y arquitectura del sistema preliminar documentada.
Sprint 2	4 – 6	OE2 – Diseño.	Arquitectura del sistema definida, modelo de datos en Firebase Firestore diseñado e interfaces diferenciadas por rol prototipadas.
Sprint 3	7 – 9	OE2 – Desarrollo.	Prototipo funcional validado: autenticación por roles operativa, captura GPS activa, ruteo optimizado mediante Google Maps Platform e interfaces de conductor, despachador y supervisor funcionando.
Sprint 4	10 – 12	OE2 – Validación.	Prototipo final validado con el Stakeholder, ajustes incorporados y documentación técnica del sistema completada.

4.3. Técnicas de Recolección de Datos.

4.3.1. Investigación Documental.

La investigación documental es una técnica de recolección de datos secundarios que consiste en la revisión, análisis e interpretación sistemática de documentos existentes relevantes para el objeto de estudio. En el contexto del presente proyecto, esta técnica permite acceder a datos históricos del desempeño operativo del CD Quito Norte que no serían observables directamente en el tiempo disponible para el diagnóstico.

Se revisarán los siguientes tipos de documentos: reportes históricos de entregas del sistema de gestión empresarial interno; registros de los KPIs del tablero operativo; datos de costos de flota; base de datos activa de puntos de atención con coordenadas geográficas; y registros de causas de entregas fallidas. El análisis de estos documentos permitirá establecer las métricas base presentadas en la sección 5.1 y cuantificar la magnitud del problema con datos verificables de la operación real.

4.3.2. Mapas de Empatía.

El mapa de empatía es una herramienta de Design Thinking desarrollada por Dave Gray y popularizada por XPLANE, que permite construir una comprensión profunda de los actores involucrados en un proceso, identificando sus pensamientos, sentimientos, percepciones y comportamientos en relación con el problema estudiado.

A diferencia de los instrumentos cuantitativos de diagnóstico, el mapa de empatía captura la dimensión subjetiva de la experiencia del usuario: lo que no aparece en los registros del sistema de gestión, pero que determina en gran medida cómo se comportan las personas frente a los procesos y las herramientas tecnológicas.

La estructura canónica del mapa de empatía organiza la información en seis zonas interdependientes. Los cuatro cuadrantes centrales responden a las preguntas: ¿qué piensa y siente? las preocupaciones, aspiraciones y emociones que el actor no necesariamente expresa en voz alta; ¿qué escucha? los mensajes que recibe de su entorno, colegas, supervisores y canales de comunicación formales e informales; ¿qué ve? lo que observa en su entorno inmediato de trabajo, incluyendo las herramientas, los procesos y el comportamiento de sus compañeros; y ¿qué dice y hace? sus comportamientos observables y sus declaraciones explícitas durante la jornada.

Complementariamente, dos zonas adicionales sintetizan los hallazgos: dolores frustraciones, obstáculos y riesgos percibidos y ganancias metas, necesidades y métricas de éxito desde la perspectiva del actor.

4.3.3. Design Thinking como marco metodológico de diagnóstico.

El Design Thinking constituye un enfoque metodológico de innovación que sitúa al ser humano en el centro del proceso de resolución de problemas, articulando su desarrollo en cinco fases iterativas y complementarias: empatizar, definir, idear, prototipar y testear. A diferencia de las metodologías de diseño convencionales, que parten de la especificación técnica del sistema para luego adaptarlo al usuario, el Design Thinking invierte este orden: primero comprende profundamente a las personas involucradas en el problema y solo entonces construye la solución.

Esta inversión metodológica no es trivial, pues implica que el diagnóstico cualitativo de la experiencia humana precede y condiciona todas las decisiones de diseño técnico posteriores. Su incorporación en proyectos de ingeniería industrial y desarrollo de sistemas tecnológicos responde a una limitación ampliamente reconocida de los enfoques exclusivamente cuantitativos: los indicadores operativos tienen la capacidad de describir con precisión qué

ocurre dentro de un proceso, pero raramente logran explicar por qué ocurre desde la perspectiva de las personas que lo ejecutan diariamente.

Esta distinción es metodológicamente relevante porque entre el dato medible y la conducta observable existe una dimensión subjetiva compuesta por percepciones, frustraciones, hábitos y necesidades no verbalizadas que determina en gran medida cómo las personas interactúan con los procesos y las herramientas, y que solo puede ser capturada mediante instrumentos cualitativos de empatía. La Figura 1 lo hace visual.



Figura 1. Mapa de Empatía.

4.5.3. Entrevistas Semiestructuradas.

La entrevista semiestructurada es una técnica de recolección de datos cualitativos que combina preguntas predefinidas con la flexibilidad de explorar respuestas en profundidad según el desarrollo de la conversación. A diferencia de la entrevista estructurada, en la que el entrevistador se ciñe estrictamente a un guion fijo sin posibilidad de desviación, y de la entrevista no estructurada, en la que la conversación fluye libremente sin un eje temático delimitado, la entrevista semiestructurada ocupa un punto intermedio metodológicamente ventajoso: garantiza que todos los temas relevantes para el diagnóstico sean abordados sistemáticamente, al mismo tiempo que permite al entrevistador profundizar en aspectos relevantes que emergen de forma espontánea durante la sesión y que no habrían podido anticiparse en el diseño del instrumento.

Esta flexibilidad la hace especialmente adecuada para comprender procesos operativos complejos con múltiples actores, variables interdependientes y dinámicas informales que no quedan registradas en los documentos oficiales de la organización.

Desde el punto de vista epistemológico, la entrevista semiestructurada se inscribe en el paradigma interpretativo de la investigación cualitativa, que reconoce que el conocimiento sobre los procesos humanos y organizacionales no puede reducirse a datos observables externamente, sino que requiere acceder a los significados que los propios actores atribuyen a su experiencia.

En el contexto de un diagnóstico operativo, esto implica que el investigador no solo registra lo que el entrevistado describe como problema, sino que interpreta el sentido que ese problema tiene para quien lo vive cotidianamente, identificando necesidades latentes que el actor no siempre es capaz de formular de manera explícita pero que se manifiestan en sus respuestas, contradicciones y énfasis durante la conversación. Esta capacidad de capturar conocimiento tácito es lo que distingue a la entrevista semiestructurada de los instrumentos de recolección cuantitativos y la convierte en un complemento metodológico indispensable del análisis documental en estudios de caso organizacional.

4.6. Técnicas de Análisis de Datos.

4.6.1. Diagrama de Ishikawa.

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa-efecto o espina de pescado, es una herramienta de análisis de calidad que permite visualizar de forma estructurada las causas potenciales de un problema, organizándolas en categorías que facilitan la identificación de las causas raíz. Su propósito fundamental es transformar un problema complejo y multidimensional en una representación visual estructurada que permita al equipo de análisis identificar, clasificar y priorizar las causas que lo originan, superando la tendencia natural a actuar sobre los síntomas más visibles del problema en lugar de sobre sus causas raíz.

A diferencia de los análisis estadísticos que cuantifican la frecuencia de los problemas, el diagrama de Ishikawa se orienta a explicar los mecanismos causales que los producen,

constituyendo así un instrumento de diagnóstico cualitativo con alto valor analítico para la toma de decisiones de mejora.

Su estructura parte de un efecto central que representa el problema principal, ubicado en el extremo derecho del diagrama, desde el cual se extiende una línea horizontal que simboliza la espina dorsal del pescado. A partir de esta línea central se ramifican las causas principales organizadas en categorías denominadas las 6M: Mano de obra, Métodos, Materiales, Maquinaria, Medición y Medio ambiente. Cada categoría principal puede a su vez ramificarse en causas secundarias y terciarias, construyendo una jerarquía causal que permite trazar la cadena de relaciones entre los factores contribuyentes y el efecto observado.

La solidez analítica del diagrama se potencia cuando se combina con otras técnicas de recolección de datos, puesto que las causas identificadas visualmente pueden contrastarse y validarse con evidencia empírica proveniente de fuentes complementarias. Esta triangulación fortalece la rigurosidad del diagnóstico al garantizar que las causas raíz identificadas no sean supuestos teóricos sino factores con respaldo verificable. Su aplicación en el presente proyecto permitirá identificar con precisión las causas raíz del problema central estudiado, clasificándolas en las seis categorías para determinar cuáles son abordables mediante la solución tecnológica propuesta. El diagrama de la Figura 2 se presentará como figura en la sección de resultados.

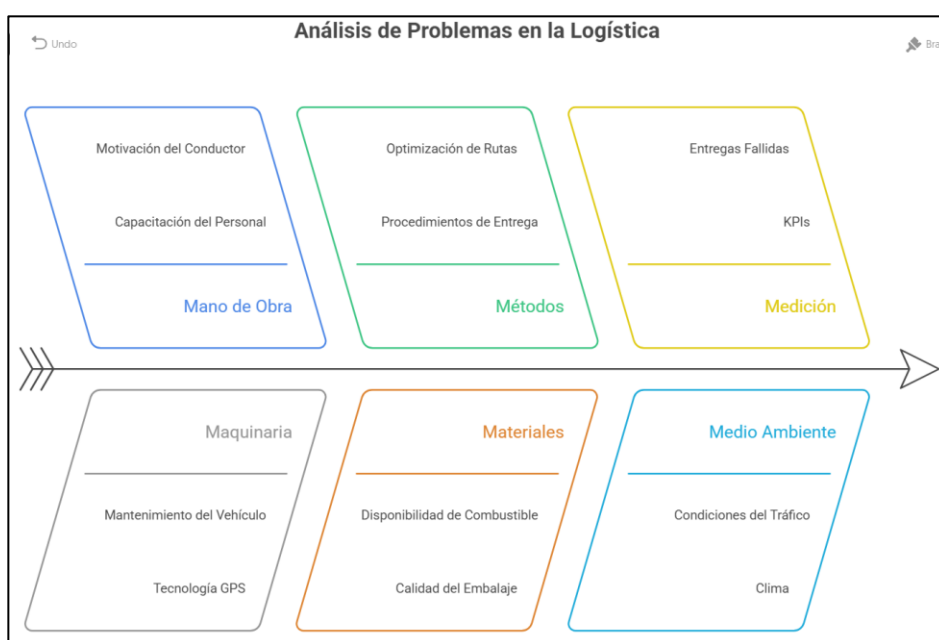


Figura 2. Diagrama de Ishikawa.

4.6.2. Mapeo del Proceso Actual (AS-IS).

El mapeo de procesos AS-IS es una técnica de análisis organizacional que documenta el flujo de trabajo tal como se ejecuta actualmente, antes de cualquier intervención de mejora. Su objetivo es comprender con precisión la secuencia de actividades, los actores involucrados, los tiempos asociados y los puntos de fallo del proceso existente. La notación AS-IS proviene del inglés "as it is", que puede traducirse como "tal como es", en contraste con el proceso TO-BE que representa el estado futuro mejorado una vez implementada la solución propuesta.

La elaboración del mapeo AS-IS se apoya en técnicas de recolección de datos tanto documentales como observacionales, dado que el proceso real frecuentemente difiere del proceso formalmente establecido en los procedimientos escritos de la organización. Esta brecha entre el proceso prescrito y el proceso ejecutado es precisamente uno de los hallazgos más valiosos que la técnica permite identificar, pues revela adaptaciones informales, workarounds y prácticas no documentadas que el personal operativo ha desarrollado para compensar las limitaciones del sistema actual. Para su representación gráfica se utilizan diagramas de flujo o notaciones estandarizadas como BPMN, que permiten visualizar de forma clara los carriles de responsabilidad por actor, las decisiones, los flujos de información y los puntos de espera o fallo dentro del proceso. La utilidad del mapeo AS-IS no reside únicamente en documentar el estado actual, sino en establecer una línea base objetiva y verificable contra la cual medir el impacto real de la solución implementada, convirtiendo así al proceso AS-IS en el punto de partida cuantificable del análisis comparativo con el proceso TO-BE.

En el presente proyecto se documentará el ciclo completo del proceso diario de distribución del CD Quito Norte, desde la recepción de pedidos hasta el cierre de la jornada operativa, identificando en cada etapa los problemas específicos que generan ineficiencia. El diagrama de flujo AS-IS completo se presentará en la sección de resultados.

La Figura 3 nos da muestra un paneo desde los cuatro departamentos de Aje Group CD Quito Norte de cómo se conectan las actividades dentro del proceso logístico de la empresa.

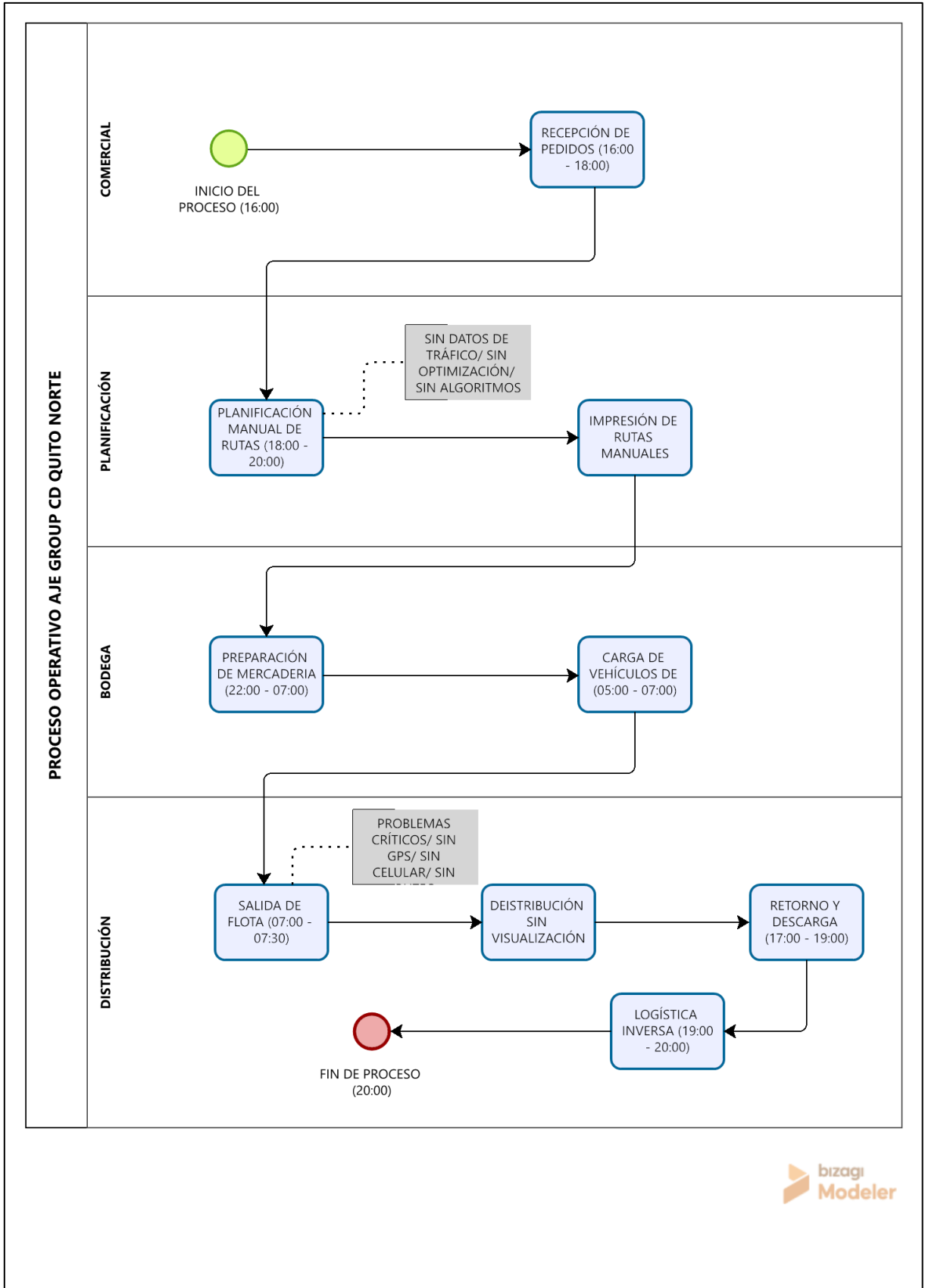


Figura 3. Mapa de Flujo As – Is Aje Ecuador.

4.6.3. Proceso Propuesto (TO-BE) y Comparativa AS-IS vs. TO-BE.

El proceso TO-BE representa el flujo de trabajo futuro que operará con el sistema propuesto, describiendo cómo cada etapa del proceso actual será transformada mediante la incorporación de la aplicación móvil, la captura GPS, el ruteo optimizado y el monitoreo en tiempo real.

El término TO-BE proviene del inglés 'to be' lo que será y su diseño se fundamenta directamente en las causas raíz identificadas en el diagrama de Ishikawa y en las brechas documentadas en el proceso AS-IS.

La comparativa AS-IS vs. TO-BE es la herramienta que permite evidenciar de forma estructurada las mejoras introducidas por el sistema en cada dimensión operativa evaluada: planificación de rutas, visibilidad de flota, respuesta ante imprevistos, confirmación de entregas, registro de retornos y generación de reportes.

Esta comparativa establece el marco de evaluación de resultados que se aplicará en la sección 5 del presente estudio para medir el impacto real del sistema propuesto. El diagrama de flujo TO-BE y la comparativa detallada se presentarán en la sección de resultados.

4.7. Diseño de la Arquitectura.

La fase de diseño, ejecutada durante los Sprints 1 a 4, traduce los hallazgos del diagnóstico en una especificación técnica completa que sirve de base para el desarrollo del prototipo funcional. Esta fase comprende cuatro actividades articuladas: la definición de requisitos del sistema, el diseño de la arquitectura por capas, la especificación del modelo de datos y el diseño de las interfaces diferenciadas por rol. El enfoque metodológico del diseño parte de los problemas identificados en el diagnóstico hacia la solución técnica que los aborda, garantizando que cada decisión arquitectónica tenga una justificación operativa verificable.

4.8. Definición de Requisitos del Sistema.

La especificación de requisitos es la actividad que formaliza las necesidades operativas identificadas en el diagnóstico en términos técnicos verificables. Un requisito es una condición o capacidad que el sistema debe satisfacer para resolver el problema planteado, y su correcta

definición es el fundamento sobre el cual se toman todas las decisiones de diseño y desarrollo [35].

La calidad de los requisitos determina directamente la calidad del sistema resultante: requisitos ambiguos o incompletos generan sistemas que no cumplen las necesidades reales del usuario. Los requisitos se clasifican en dos categorías fundamentales. Los requisitos funcionales describen qué debe hacer el sistema, sus funciones, comportamientos e interacciones con los usuarios. Los requisitos no funcionales describen cómo debe comportarse el sistema, sus atributos de calidad como rendimiento, disponibilidad, seguridad, usabilidad y compatibilidad. Esta distinción es esencial porque los requisitos funcionales determinan el alcance del prototipo, mientras que los no funcionales establecen los criterios de calidad que se evaluarán durante las pruebas de validación [35].

La Tabla 22 presenta el marco de clasificación y verificación de los requisitos del sistema.

Tabla 22. Marco de clasificación y verificación de requisitos del sistema.

Categoría	Descripción	Criterio de verificación
Requisitos Funcionales (RF)	Especifican qué debe hacer el sistema: las funciones, comportamientos e interacciones que debe proporcionar a cada tipo de usuario para cumplir con los objetivos operativos.	Se verifican mediante pruebas funcionales sobre el prototipo: cada RF se prueba ejecutando el flujo de usuario correspondiente y validando el resultado esperado.
Requisitos No Funcionales (RNF)	Especifican cómo debe comportarse el sistema: sus atributos de calidad como rendimiento, disponibilidad, seguridad, usabilidad y compatibilidad con dispositivos.	Se verifican mediante pruebas de rendimiento, pruebas de seguridad y evaluación de usabilidad con usuarios reales del área operativa.
Prioridad Alta	Requisitos obligatorios para que el sistema cumpla su propósito principal. Su ausencia impide la operación básica del sistema.	Deben estar completamente implementados y validados en el prototipo antes de la Sprint Review final.
Prioridad Media	Requisitos que agregan valor operativo significativo, pero no son bloqueantes para el funcionamiento básico del sistema.	Se implementan en sprints posteriores según la disponibilidad de tiempo y recursos del proyecto.

Los requisitos funcionales y no funcionales específicos del sistema, derivados del análisis de las causas raíz identificadas en el diagnóstico y de las necesidades expresadas por los actores en las entrevistas, se presentan en la sección de resultados como parte de los entregables de Sprint 1 a 4.

4.9. Diseño de la Arquitectura por Capas.

La arquitectura del sistema se estructura en capas especializadas que siguen el modelo de referencia IoT – Edge - Cloud descrito en el marco teórico. Este modelo organiza las responsabilidades del sistema en niveles jerárquicos, donde cada capa tiene una función específica y se comunica con las capas adyacentes a través de interfaces bien definidas. La separación en capas garantiza modularidad: cada componente puede evolucionar, escalar o ser reemplazado de forma independiente sin afectar al resto del sistema [36].

La decisión de adoptar una arquitectura por capas responde a tres criterios técnicos que se derivan directamente de los requisitos operativos identificados en el diagnóstico. El primero es la necesidad de procesar datos localmente en el dispositivo antes de transmitirlos para garantizar funcionalidad ante conectividad limitada, reconociendo que los conductores operan en zonas urbanas donde la cobertura de red móvil puede ser intermitente o insuficiente para sostener una comunicación continua con el servidor, por lo que el dispositivo debe ser capaz de registrar eventos y mantener el estado de la operación de forma autónoma y sincronizar posteriormente cuando la conectividad se restablezca.

El segundo criterio es la separación entre el backend de almacenamiento y los servicios externos de mapas, lo que permite gestionar los costos de cada proveedor de forma independiente y sustituir o escalar cualquiera de los dos componentes sin afectar al resto del sistema, otorgando al proyecto flexibilidad contractual y técnica a largo plazo. El tercer criterio es la diferenciación de interfaces por rol, que garantiza que cada actor acceda únicamente a las funciones pertinentes a su responsabilidad operativa, simplificando la experiencia de uso para cada perfil de usuario y reduciendo el riesgo de operaciones no autorizadas o errores derivados de acceso a funcionalidades fuera del alcance de cada rol.

La arquitectura por capas es además el modelo de referencia más extendido en el diseño de sistemas IoT con componentes de Edge Computing y backend en la nube, precisamente porque cada capa puede evolucionar, escalar o ser reemplazada de forma independiente sin comprometer la integridad del sistema completo.

Esta modularidad es especialmente relevante en proyectos tecnológicos aplicados a operaciones logísticas, donde los volúmenes de datos, los proveedores de servicios y los requisitos de seguridad pueden cambiar con el tiempo sin que sea deseable rediseñar toda la arquitectura desde cero. La separación clara de responsabilidades entre capas facilita además el mantenimiento correctivo y evolutivo del sistema, dado que los fallos o mejoras en una capa quedan contenidos dentro de sus límites definidos y no se propagan de forma impredecible hacia las demás.

La Tabla 23 describe cada capa y su responsabilidad en el sistema propuesto, detallando los componentes tecnológicos que la integran.

Tabla 23. Arquitectura por capas del sistema propuesto.

Capa	Denominación	Responsabilidad en el sistema
1	Dispositivos IoT	Corresponde a los dispositivos físicos que capturan datos del entorno. En arquitecturas IoT móviles, el smartphone actúa como nodo sensor sin requerir hardware dedicado adicional, capturando señal GPS y eventos del usuario.
2	Edge Computing	Capa de procesamiento local en el dispositivo. Ejecuta lógica de filtrado, validación y encolamiento de datos antes de transmitirlos al backend, reduciendo latencia, consumo de datos y dependencia de conectividad permanente.
3	Cloud Backend	Capa de almacenamiento centralizado, sincronización en tiempo real y gestión de identidad en la nube. Recibe, persiste y distribuye los datos procesados desde el edge hacia todas las interfaces del sistema.
4	APIs externas	Capa de servicios especializados de terceros que el sistema consume mediante llamadas HTTP. Proveen capacidades avanzadas de mapas, ruteo, geocodificación y navegación que serían inviables de desarrollar internamente.
5	Interfaces de usuario	Capa de presentación que expone las funcionalidades del sistema a los distintos actores. Cada interfaz se adapta al contexto de uso y al perfil de rol, mostrando únicamente las funciones pertinentes a cada usuario.

La arquitectura del sistema se estructura en capas especializadas que siguen el modelo de referencia IoT–Edge–Cloud descrito en el marco teórico. Este modelo organiza las responsabilidades del sistema en niveles jerárquicos, donde cada capa tiene una función específica y se comunica con las capas adyacentes a través de interfaces bien definidas, tal como se representa en la Figura 4.

La separación en capas garantiza modularidad: cada componente puede evolucionar, escalar o ser reemplazado de forma independiente sin afectar al resto del sistema.

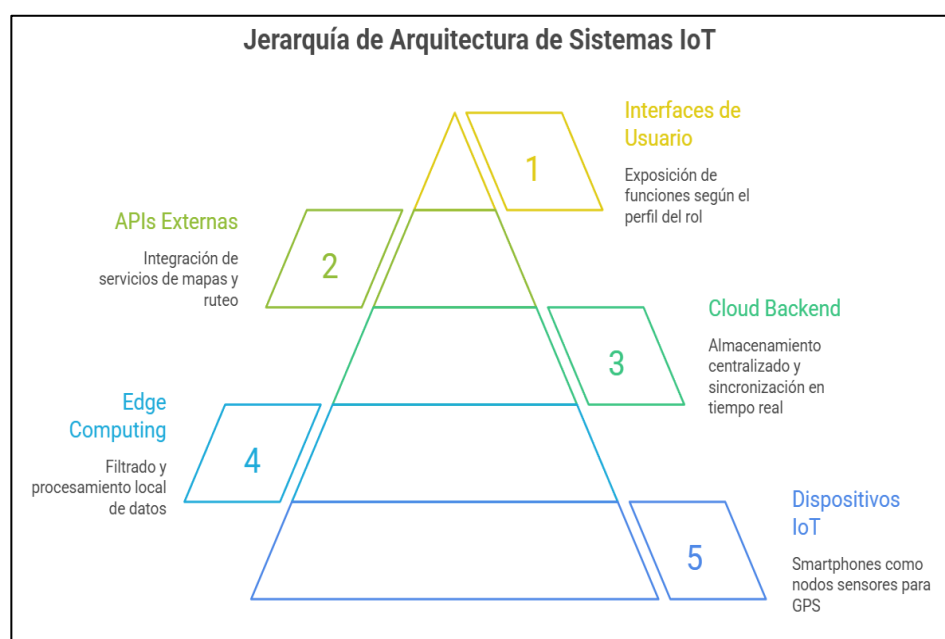


Figura 4. Arquitectura del sistema por capas.

4.9.1. Backend como Servicio: Firebase.

Firebase es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles y web provista por Google que ofrece un ecosistema de servicios backend gestionados en la nube [37].

Su adopción elimina la necesidad de administrar servidores propios, reduciendo la complejidad operativa y los costos de infraestructura. La integración con FlutterFlow es nativa: los servicios de Firebase se conectan directamente al proyecto mediante configuración visual sin necesidad de código de integración manual.

La plataforma Firebase ofrece un conjunto amplio de servicios que cubren las necesidades de una aplicación móvil completa.

La Tabla 24 describe los servicios disponibles y su función dentro del ecosistema de la aplicación propuesta.

Tabla 24. Servicios de la plataforma Firebase y su función en el sistema.

Servicio Firebase	Función en el ecosistema de la aplicación
Authentication	Gestiona el registro, inicio de sesión y cierre de sesión de los usuarios. Soporta múltiples métodos de autenticación (correo/contraseña, proveedores externos) y emite tokens de acceso seguros que identifican al usuario en cada operación.
Firestore Database	Base de datos NoSQL orientada a documentos con sincronización en tiempo real. Organiza la información en colecciones y documentos con estructura flexible, propagando cualquier cambio instantáneamente a todos los clientes suscritos.
Storage	Almacenamiento de archivos binarios como imágenes, documentos y evidencias asociadas a los registros de la aplicación. Integrado con Authentication para controlar el acceso a cada archivo según el usuario.
Security Rules	Motor de reglas declarativas que controla el acceso a Firestore y Storage a nivel de colección, documento y campo. Valida la autenticación y el rol del usuario antes de permitir cualquier operación de lectura o escritura.
Analytics	Plataforma de análisis de comportamiento de usuarios dentro de la aplicación. Registra eventos, flujos de navegación y métricas de uso que permiten identificar patrones y optimizar la experiencia.
Crashlytics	Servicio de monitoreo de estabilidad de la aplicación. Detecta, registra y reporta en tiempo real los fallos de la app con información de diagnóstico para su corrección.
Performance Monitoring	Herramienta de análisis de rendimiento que mide tiempos de carga, latencia de red y duración de operaciones críticas, permitiendo identificar cuellos de botella en la experiencia del usuario.
Remote Config	Permite modificar el comportamiento y la apariencia de la aplicación de forma remota sin necesidad de publicar una nueva versión, habilitando pruebas A/B y activación gradual de funcionalidades.

4.9.2. Integración con APIs de Mapas y Ruteo.

Las APIs de mapas y ruteo proveen al sistema las capacidades de navegación, optimización de rutas y visualización geográfica que constituyen el núcleo funcional de la propuesta

tecnológica. Estas APIs se consumen como servicios externos mediante llamadas HTTP desde la aplicación y se integran en FlutterFlow a través de conectores configurables que gestionan la autenticación, el formato de las solicitudes y el procesamiento de las respuestas [38].

La autenticación con los servicios externos se gestiona mediante claves de API diferenciadas por plataforma de ejecución móvil Android, móvil iOS y Web, generadas y administradas desde la consola del proveedor.

Cada clave se restringe a la plataforma correspondiente mediante identificadores únicos del proyecto (identificador de paquete, firma digital o dominio web), aplicando el principio de mínimo privilegio a nivel de credencial. La Tabla 25 describe las categorías de APIs utilizadas y la capacidad que cada una aporta al sistema.

Tabla 25. Categorías de APIs de mapas y ruteo integradas en el sistema.

Tipo de API / SDK	Capacidad que aporta al sistema de ruteo dinámico
APIs de cálculo de rutas	Calculan la ruta óptima entre múltiples puntos considerando distancia, tiempo estimado y condiciones de tráfico. Permiten optimizar el orden de visita de los puntos de entrega para minimizar el tiempo total de la jornada.
APIs de tráfico en tiempo real	Proveen datos actualizados sobre condiciones de circulación, incidentes viales y predicciones de demora. Se integran con el cálculo de rutas para ajustar los tiempos estimados de llegada durante la ejecución.
APIs de geocodificación	Convierten direcciones textuales en coordenadas geográficas (latitud/longitud) y viceversa. Permiten validar y normalizar la ubicación de los puntos de entrega antes de ser utilizados en el cálculo de rutas.
APIs de búsqueda de lugares	Permiten buscar, identificar y validar ubicaciones específicas por nombre, categoría o proximidad geográfica. Útiles para enriquecer y verificar los datos de los puntos de atención.
SDKs de mapas móviles	Librerías nativas para Android e iOS que permiten renderizar mapas interactivos dentro de la aplicación, mostrar marcadores, trazados de ruta y la posición actual del dispositivo en tiempo real.
SDK de mapas web	Librería JavaScript para integrar mapas interactivos en aplicaciones web, permitiendo visualizar la flota completa y los recorridos desde el panel de supervisión en navegador.

4.10. Modelo de Datos en Firebase Firestore.

El diseño del modelo de datos define la estructura con la que la información del sistema se organiza, almacena y consulta en la base de datos. Firebase Firestore es una base de datos NoSQL orientada a documentos que organiza la información en colecciones y documentos con estructura flexible, sin requerir un esquema fijo predefinido.

Esta característica permite adaptar el modelo de datos a medida que los requisitos evolucionan durante los sprints del proyecto.

El atributo más relevante de Firestore para el presente sistema es su capacidad de sincronización en tiempo real: cualquier actualización en la base de datos se propaga instantáneamente a todos los clientes suscritos sin necesidad de consultas periódicas. Esta propiedad es la que habilita el monitoreo en tiempo real de la flota desde la interfaz del despachador y del supervisor, sin latencia perceptible para el usuario.

El modelo de datos se diseña siguiendo tres principios de optimización para Firestore: minimizar el número de operaciones de lectura y escritura, que determinan el costo operativo del servicio; estructurar las colecciones según los patrones de consulta más frecuentes del sistema; y evitar la anidación excesiva de documentos, que limita las capacidades de consulta y filtrado. El diagrama del modelo de datos, con la estructura de colecciones y sus relaciones, se presenta en la sección de resultados.

4.11. Diseño de Roles e Interfaces en FlutterFlow.

FlutterFlow es una plataforma de desarrollo low-code basada en Flutter que permite construir aplicaciones móviles y web mediante una interfaz visual, generando código Flutter/Dart de calidad de producción [23].

Una de sus características clave para el presente proyecto es la gestión de roles de usuario: FlutterFlow permite definir perfiles de acceso personalizados según las necesidades de cada aplicación, de modo que la interfaz que ve y las funciones a las que accede cada usuario se adaptan dinámicamente al rol que tiene asignado en el sistema de autenticación.

La gestión de roles en FlutterFlow se integra nativamente con Firebase Authentication: al autenticarse, el sistema recupera el perfil del usuario desde Firestore y determina qué vistas,

componentes y acciones están habilitadas para ese rol. Esta integración permite construir una única base de código que se adapta a múltiples perfiles de usuario, reduciendo el tiempo de desarrollo y garantizando consistencia en la lógica de negocio entre interfaces.

4.11.1. Interfaces Diferenciadas por Rol.

El sistema propuesto implementa un conjunto de interfaces diferenciadas según el perfil de cada actor involucrado en el proceso de distribución. FlutterFlow permite definir tantos roles como sean necesarios según las responsabilidades operativas identificadas en el diagnóstico, asignando a cada uno un conjunto específico de vistas y permisos de acción. Este enfoque garantiza que cada usuario acceda únicamente a las funcionalidades pertinentes a su trabajo, simplificando la experiencia de uso y reduciendo el riesgo de operaciones no autorizadas.

Cada interfaz se diseña considerando el contexto de uso del actor: las condiciones del entorno donde operará, el nivel de familiaridad tecnológica del usuario, y las tareas específicas que debe realizar durante su jornada. Las interfaces móviles se optimizan para uso en campo, mientras que la interfaz web se orienta a la gestión y supervisión desde un entorno de escritorio. Las capturas de pantalla de las interfaces desarrolladas se presentan en la sección de resultados.

4.11.2. Mecanismos de Seguridad del Sistema.

La seguridad del sistema se implementa mediante cuatro mecanismos complementarios que operan en niveles distintos de la arquitectura, garantizando la protección de los datos y la integridad de las operaciones en todas las capas del sistema.

OAuth 2.0 es el protocolo estándar de autorización que gestiona la delegación de acceso entre servicios. Permite que la aplicación acceda a los recursos del usuario sin manejar directamente sus credenciales, mediante el intercambio de tokens de acceso de corta duración. Firebase Authentication implementa este protocolo para gestionar el ciclo de vida de las sesiones de usuario de forma segura [28].

TLS (Transport Layer Security) es el protocolo criptográfico que cifra toda la comunicación entre la aplicación y los servicios backend durante el transporte. Garantiza la confidencialidad

e integridad de los datos transmitidos, impidiendo que terceros intercepten o modifiquen la información en tránsito entre el dispositivo móvil y los servidores en la nube [30].

Firebase Security Rules es el motor de reglas declarativas que controla el acceso a Firestore y Storage a nivel de colección, documento y campo. Las reglas se evalúan en el servidor antes de cada operación de lectura o escritura, validando tanto la autenticación del usuario como su rol y los datos que intenta manipular. Este mecanismo implementa el principio de mínimo privilegio: ningún usuario puede acceder a datos que excedan los permisos de su rol [29].

OWASP Mobile Top 10 es el estándar de referencia internacional para la seguridad de aplicaciones móviles, publicado por el Open Web Application Security Project. Define las diez categorías de vulnerabilidades más críticas en aplicaciones móviles y las contramedidas recomendadas para prevenirlas. Su aplicación en el presente proyecto garantiza que el prototipo desarrollado siga las mejores prácticas de seguridad reconocidas por la industria [31].

4.12. Análisis Costo-Beneficio.

La fase de análisis costo-beneficio, ejecutada durante el objetivo específico 3, evalúa la viabilidad económica de implementar el sistema propuesto. El análisis costo-beneficio es una metodología de evaluación de proyectos que cuantifica y compara los costos de la inversión con los beneficios económicos esperados, expresados ambos en términos monetarios y en el mismo horizonte temporal, para determinar si el proyecto genera valor suficiente para justificar su implementación [32].

Los valores calculados se presentan en la sección de resultados; esta sección describe únicamente la metodología, los instrumentos y las fórmulas aplicadas.

4.12.1. Estructura de Costos CAPEX y OPEX.

Los costos del proyecto se clasifican en dos categorías estándar de la gestión financiera de proyectos tecnológicos. El CAPEX (Capital Expenditure) agrupa las inversiones iniciales no recurrentes necesarias para poner el sistema en operación: costos de desarrollo, licencias de plataforma y capacitación inicial del personal.

El OPEX (Operational Expenditure) agrupa los costos recurrentes mensuales de operación del sistema una vez implementado: servicios en la nube, APIs externas, mantenimiento y conectividad de dispositivos. Esta clasificación es fundamental porque el CAPEX determina el monto de la inversión inicial a recuperar, mientras que el OPEX establece el costo mensual sostenido que debe ser inferior al beneficio generado para que el proyecto sea viable [33].

La Tabla 26 presenta la estructura de categorías de costos que se cuantificará en la sección de resultados, diferenciando explícitamente los componentes de inversión inicial no recurrente correspondientes al CAPEX de los costos operativos recurrentes correspondientes al OPEX, estableciendo así el marco de clasificación financiera sobre el cual se calcularán los indicadores de rentabilidad del proyecto.

Tabla 26. Estructura de costos CAPEX y OPEX del sistema propuesto.

Categoría	Componente	Descripción
CAPEX	Desarrollo del prototipo.	Horas de diseño de arquitectura, configuración de servicios en la nube y desarrollo del prototipo funcional en la plataforma de desarrollo seleccionada.
CAPEX	Licencias y suscripciones iniciales.	Costos de acceso inicial a las plataformas de desarrollo, servicios de backend y APIs de mapas requeridas para poner el sistema en operación.
CAPEX	Capacitación del personal.	Horas de formación al personal operativo para el uso correcto del sistema según su rol asignado.
OPEX	Servicios de backend en la nube.	Costo mensual recurrente por operaciones de lectura, escritura y almacenamiento de datos en la plataforma cloud según el volumen de uso.
OPEX	APIs de mapas y ruteo.	Costo mensual recurrente por el consumo de llamadas a las APIs de cálculo de rutas, tráfico, geocodificación y renderización de mapas.
OPEX	Mantenimiento y soporte técnico.	Horas mensuales de mantenimiento correctivo, actualizaciones de la plataforma y soporte a usuarios del sistema.
OPEX	Conectividad de dispositivos.	Costo mensual del servicio de datos móviles requerido en los dispositivos para la transmisión de ubicación y sincronización con el backend.

4.12.2. Indicadores de Rentabilidad.

La evaluación económica del proyecto se realiza mediante dos indicadores financieros complementarios que permiten determinar la viabilidad y el atractivo de la inversión. La selección responde a la naturaleza del problema abordado: un proyecto tecnológico de implementación rápida con costos iniciales bajos y beneficios operativos inmediatos y medibles, cuya viabilidad se determina mediante una comparación directa entre el costo de la solución y el beneficio generado sobre el problema que resuelve.

La Relación Costo-Beneficio (B/C) es el indicador central del análisis y el más apropiado para proyectos tecnológicos de corto período de recuperación en contextos logísticos operativos. Mide cuántos dólares de beneficio neto genera el sistema por cada dólar invertido durante el primer año. Un proyecto es viable cuando $B/C > 1$, siendo más atractivo cuanto mayor sea este valor. Su fortaleza radica en expresar en términos simples la brecha entre el costo del problema y el costo de la solución, facilitando la toma de decisiones por parte de actores no especializados en evaluación financiera como la gerencia del CD Quito Norte. Se calcula mediante la Ecuación 4.1:

$$B/C = \text{Beneficio Neto Anual} / \text{Costo Total Año 1 (CAPEX + OPEX)} \quad (4.1)$$

El Período de Recuperación (Payback Period) complementa el análisis indicando en cuánto tiempo la organización recupera íntegramente la inversión inicial a partir de los beneficios netos mensuales generados. Es el principal indicador de riesgo financiero: a menor período de recuperación, menor exposición al riesgo y mayor certeza de que la inversión generará valor en el corto plazo. En proyectos de tecnología aplicada a operaciones logísticas, un Payback inferior a 12 meses se considera altamente atractivo, mientras que períodos inferiores a 3 meses eliminan prácticamente el riesgo financiero de la adopción. Se calcula mediante la Ecuación 4.2:

$$\text{Payback Period} = \text{CAPEX} / \text{Beneficio Neto Mensual} \quad (4.2)$$

La combinación de ambos indicadores ofrece una visión integral de la viabilidad económica: el B/C cuantifica la magnitud del retorno por cada dólar invertido, mientras que el Payback establece el horizonte temporal en que ese retorno se materializa. Los valores obtenidos para ambos indicadores en los tres escenarios de análisis se presentan en la sección de resultados.

4.12.3. Análisis de Sensibilidad por Escenarios.

El análisis de sensibilidad evalúa cómo varían los indicadores de rentabilidad ante cambios en las variables clave del modelo financiero. Su propósito es identificar qué tan robusto es el proyecto frente a hipótesis menos favorables que las esperadas, proporcionando al tomador de decisiones un rango de resultados posibles en lugar de un único valor puntual [32].

Se construyen tres escenarios que modifican las variables de mayor incertidumbre: el grado de reducción efectiva del problema operativo y la variación en los costos operativos del sistema. La Tabla 27 describe los parámetros de cada escenario.

Tabla 27. Escenarios de sensibilidad para el análisis costo-beneficio.

Variable de análisis	Escenario optimista	Escenario base	Escenario conservador
Reducción del índice de retornos	Supera la meta corporativa establecida.	Alcanza exactamente la meta corporativa.	Reducción parcial respecto a la meta.
Beneficio neto mensual	Superior al escenario base en un porcentaje definido.	Calculado a partir del costo actual documentado por retornos.	Inferior al escenario base en un porcentaje definido.
Variación en costos operativos	Reducción por eficiencias en consumo de servicios.	Costo estándar según tarifas vigentes de los servicios.	Incremento por mayor volumen de uso de los servicios.
Indicadores a calcular	ROI, Payback Period, VAN, TIR.	ROI, Payback Period, VAN, TIR.	ROI, Payback Period, VAN, TIR.

Los tres escenarios se evalúan aplicando los mismos cuatro indicadores financieros, permitiendo al tomador de decisiones valorar el riesgo económico asociado a distintos niveles de efectividad del sistema y de adopción por parte del personal operativo.

Es importante destacar que ambos indicadores se calculan para los tres escenarios de adopción definidos en la sección anterior, optimista, base y conservador, lo que permite evaluar la robustez de la viabilidad económica ante distintos niveles de apropiación tecnológica del personal operativo del CD Quito Norte.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

5.1. Caracterización del Centro de Distribución Quito Norte Aje Group Ecuador.

La fase de diagnóstico dio inicio con la caracterización integral del caso de estudio, aplicando investigación descriptiva e investigación documental como técnicas primarias de recolección de datos. Esta fase permitió establecer el contexto organizacional, operativo y humano sobre el cual se sustenta el análisis de causas raíz de las entregas no efectivas.

Aje Group Ecuador es la subsidiaria local de Aje Group, corporación multinacional de origen peruano con presencia en 23 países de América Latina, Asia y África. En Ecuador opera desde el año 2010 y se posiciona como el segundo actor del mercado de bebidas no alcohólicas a nivel nacional, con el 18% de participación de mercado. Su portafolio incluye las marcas Big Cola, Volt, Cielo, Pulp, Free Tea, First y Sporade, con precios entre 20% y 35% más accesibles que las marcas líderes y calidad certificada bajo la norma ISO 9001:2015. La fortaleza comercial de la empresa se concentra en el canal tradicional, que representa el 71% de las ventas del sector de bebidas en el país, distribuyendo hacia más de 12.500 puntos de venta activos a nivel nacional.

La instalación tiene una superficie total de 3.200 m² bajo contrato de arrendamiento, cuya distribución funcional se detalla en la Tabla 28.

Tabla 28. Distribución de áreas funcionales del CD Quito Norte.

Área funcional	Superficie (m ²)	Porcentaje	Observación operativa
Almacenamiento principal	450	14.1%	Capacidad para producto terminado.
Logística inversa (devoluciones)	157.5	4.9%	Ocupación real: 35% del almacenamiento vs. meta del 15%. Indicador crítico del impacto del índice de retornos.
Carga y descarga	280	8.8%	4 muelles de atención simultánea.
Parqueadero de flota	1.800	56.3%	25 posiciones vehiculares.
Área administrativa	120	3.8%	Oficinas operativas y sala de conductores.
Otras áreas	392.5	12.3%	Circulación, servicios y mantenimiento.
TOTAL	3.200	100%	Instalación arrendada, Panamericana Norte Km 14.5, Calderón.

El análisis del uso del espacio revela que el área de logística inversa opera al 35% de la capacidad de almacenamiento, más del doble de la meta corporativa del 15%.

Este dato, obtenido mediante investigación documental de los registros de ocupación del CD, constituye un indicador físico directo del impacto que el alto índice de retornos ejerce sobre la capacidad operativa de la instalación, confirmando cuantitativamente la pertinencia del presente estudio.

5.1.1. Mapa de Procesos Aje Group CD Quito Norte.

El mapa de procesos del Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group Ecuador representa la arquitectura organizacional del CD en tres niveles jerárquicos, siendo una herramienta clave para comprender el contexto sistémico de las entregas no efectivas.

En el nivel estratégico se definen los lineamientos de dirección del CD a través de cinco procesos: Planificación Estratégica de Distribución, Gestión de Expansión de Mercado, Políticas de Distribución y Logística, Gestión de Calidad y Seguridad Alimentaria, y Mejora Continua y Optimización de Rutas. Este último es directamente relevante para el presente estudio, ya que su ejecución efectiva requiere información operativa en tiempo real que el proceso actual no puede generar.

En el nivel operacional, núcleo de valor del CD, se transforma el pedido del cliente en una entrega efectiva. Sus ocho procesos son: Recepción de Productos, Verificación y Control de Calidad, Almacenamiento y Gestión de Inventarios, Picking y Preparación de Pedidos, Consolidación de Carga por Ruta, Distribución y Transporte, Entrega a Clientes, y Gestión de Devoluciones y Productos Vencidos.

Las principales ineficiencias se concentran en los tres últimos, que operan sin soporte tecnológico de ruteo, monitoreo ni confirmación digital.

En el nivel de apoyo se proveen los recursos e infraestructura necesarios para la continuidad operacional, incluyendo Gestión de Recursos Humanos, Mantenimiento de Vehículos, Finanzas y Facturación, Tecnología de Información, y Compras y Abastecimiento.

Precisamente el proceso de Tecnología de Información es el que carece de una solución para la gestión digital del ruteo, limitando la capacidad de optimización del CD.

La Figura 5 presenta el mapa de procesos descrito, cuyo análisis permite identificar con claridad el nivel y proceso específico donde se origina la brecha tecnológica que la presente propuesta busca resolver.

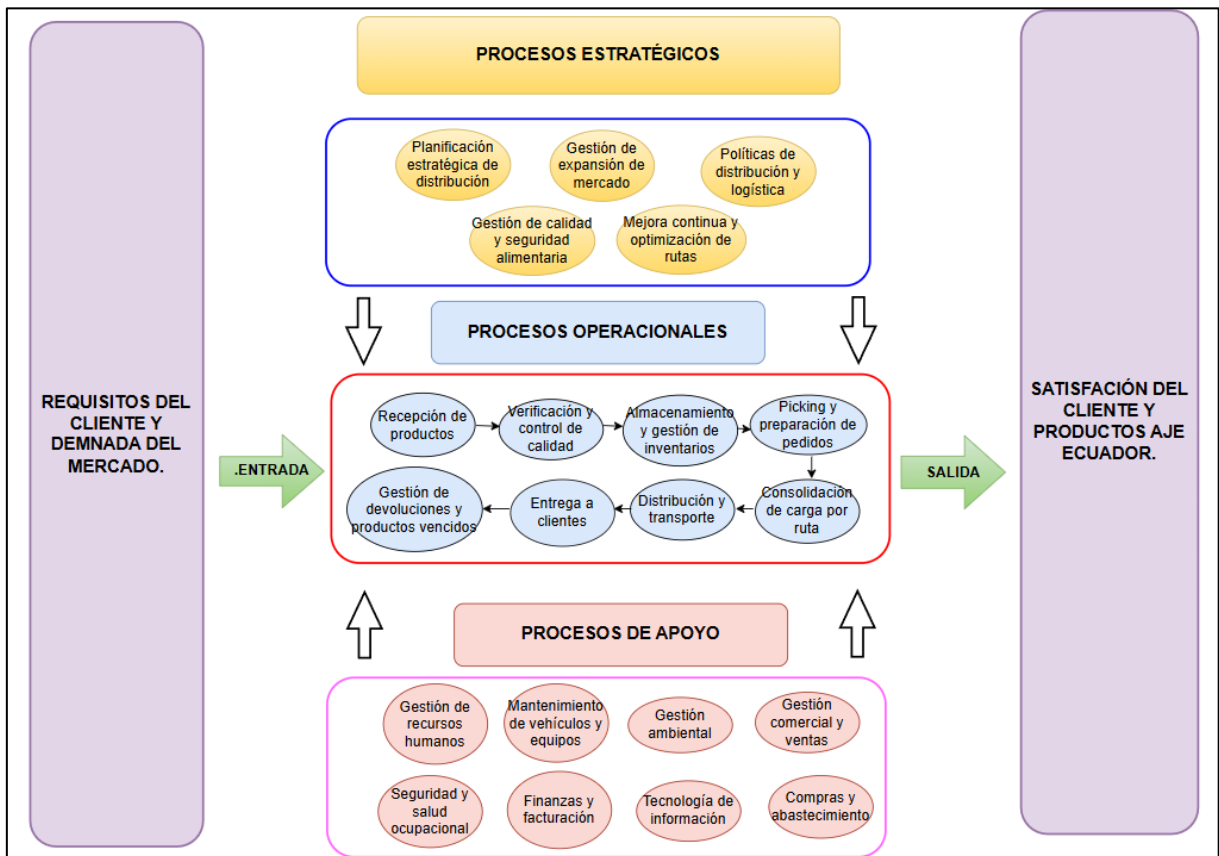


Figura 5. Mapa de Procesos Aje Group CD Quito Norte.

5.1.2. Estructura Organizacional y Flota Vehicular.

Aplicando el método inductivo sobre los registros de personal del CD, se identificó que el equipo humano está conformado por 44 colaboradores distribuidos en tres niveles jerárquicos, dentro de la estructura es muy importante mencionarlo dado que la jerarquía es muy importante y así se detalla en la Tabla 29.

Tabla 29. Estructura de personal del CD Quito Norte.

Nivel jerárquico	Cargo	Cantidad	Responsabilidades principales
Estratégico	Supervisor General	1	Gestión integral del CD, seguimiento de KPIs y decisiones estratégicas.
Táctico	Supervisor de Logística	1	Coordinación operativa, supervisión de rutas y gestión de incidencias.
Operativo	Despachadores / Ayudantes de bodega	6	Planificación de rutas, asignación de carga y gestión de devoluciones.
Operativo	Conductores	18	Ejecución de rutas de distribución, cobros y atención al cliente.
Operativo	Ayudantes de conductor	18	Descarga, verificación de cantidades y asistencia al conductor.
TOTAL	Personal directo del CD Quito Norte	44	

La estructura organizacional parte del Supervisor General, responsable de la gestión integral del CD y el seguimiento de los indicadores estratégicos. Reportando directamente a él se encuentra el Supervisor de Logística, quien coordina la operación diaria, supervisa las rutas y gestiona las incidencias durante la jornada de distribución tal así lo explica la Figura 6.

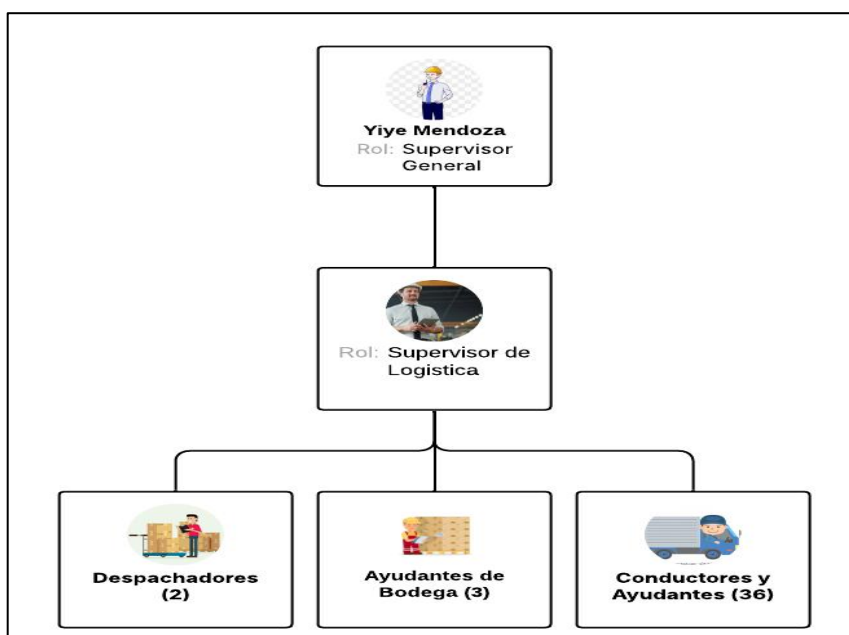


Figura 6. Estructura organizacional.

En el nivel operativo se articulan tres grupos: los Despachadores y Ayudantes de Bodega, responsables de la planificación manual de rutas y la asignación de carga; los Conductores, quienes ejecutan las rutas de distribución y gestionan los cobros; y los Ayudantes de Conductor, quienes apoyan en la descarga y verificación de cantidades.

Es precisamente en el nivel operativo donde se concentran los actores más afectados por la ausencia de tecnología de ruteo: los despachadores elaboran las guías de ruta sin soporte algorítmico ni datos de tráfico en tiempo real, y los conductores ejecutan sus recorridos sin GPS, sin confirmación previa de disponibilidad en los puntos de entrega y sin canal digital de comunicación con el CD durante la jornada.

Respecto a la flota vehicular, el CD Quito Norte opera con 18 unidades de distribución detalladas en la Tabla 30. Ninguna de las unidades cuenta con sistema de rastreo GPS embebido ni dispositivo de comunicación en tiempo real, limitación que constituye una de las causas raíz de la ausencia de visibilidad operativa durante la jornada.

Tabla 30. Composición de la flota vehicular del CD Quito Norte.

Tipo de vehículo	Cantidad	Cap. (cajas)	Marca / Modelo	Año prom.	Estado
Camión un eje (5 ton)	12	420	Chevrolet NPR	2019	75% óptimo
Camión dos ejes (8 ton)	6	550	Mitsubishi Canter	2020	83% óptimo
TOTAL	18	8.340			78% promedio

5.1.3. Indicadores Clave de Desempeño (KPIs).

El indicador ERI, Entregas Realizadas Inmediatamente, registra un valor actual del 86%, lo que significa que de las 8.500 cajas despachadas diariamente, únicamente 7.310 llegan al cliente en el primer intento. Las 1.190 cajas restantes, equivalentes al 14% del volumen diario, no se entregan de forma efectiva, configurando el índice de retornos, el indicador más crítico del tablero, con una brecha de 11 puntos porcentuales sobre la meta corporativa del 3% y una desviación de más de cuatro veces el umbral operativo aceptable.

Ambos indicadores son la cara opuesta del mismo problema: el ERI mide lo que sí se entrega, el índice de retornos mide lo que falla, y juntos revelan que el proceso actual de distribución opera con una ineficiencia estructural en la última milla que el sistema manual no es capaz de corregir.

Esta ineficiencia tiene consecuencias directas sobre los demás indicadores del tablero. El costo real por caja despachada oscila entre \$0.25 y \$0.29, superando en hasta un 32% la meta

corporativa de \$0.20 a \$0.22, dado que cada retorno genera un triple costo de combustible, tiempo de conductor y desgaste vehicular. A su vez, la acumulación diaria de 1.190 cajas no entregadas presiona el área de logística inversa, cuya ocupación actual del 35% duplica la meta del 15%.

La Tabla 31 presenta los indicadores clave de desempeño del tablero operativo de Aje Group CD Quito Norte durante el segundo semestre de 2025, con sus valores actuales, metas corporativas y brechas identificadas.

Tabla 31. Indicadores clave de desempeño del CD Quito Norte - 2.º semestre 2025.

Indicador (KPI)	Valor actual	Meta corporativa	Brecha	Impacto	Fórmula de cálculo
ERI - Entregas Realizadas Inmediatamente.	86%	97%	-11 pp	Alto	(N.º de entregas exitosas en primer intento / Total de entregas intentadas) × 100.
Índice de retornos (cajas no entregadas).	14% - 1.190 cajas/día	3%	+11 pp	Crítico	(Cajas devueltas al CD / Total de cajas despachadas) × 100.
Costo real por caja despachada.	\$0.25 - \$0.29	\$0.20-\$0.22	+32%	Alto	Costo operativo total del período / Total de cajas despachadas en el mismo período.
Ocupación área logística inversa.	35%	15%	+20 pp	Alto	(Área utilizada por devoluciones / Área total destinada a logística inversa) × 100.
Salida camiones T2 (hora de despacho).	Retrasos sistemáticos	07:30 h	Variable	Medio	Hora real de salida - Hora programada (07:30 h), expresado en minutos por unidad.
TAT - Tiempo de Atención al Transporte.	Alta variabilidad	Estable	Variable	Medio	Hora de salida del camión - Hora de llegada al CD para carga (en minutos por unidad),

El análisis de los KPIs revela que el problema no es aislado: el índice de retornos elevado impacta en cadena sobre el costo por caja, la ocupación de logística inversa y los retrasos en la salida de la flota, formando un sistema de ineficiencias interconectadas que requiere una intervención tecnológica integral. Esta interdependencia explica por qué los esfuerzos operativos puntuales no han logrado reducir de forma sostenida el índice de retornos, dado que actuar sobre una variable sin intervenir las demás produce mejoras marginales e insostenibles.

5.2. Análisis del Volumen Operativo.

La Tabla 32 sintetiza las métricas de volumen operativo del CD Quito Norte que sirven como base de todos los cálculos del presente diagnóstico. Estos valores fueron obtenidos mediante investigación documental de los registros operativos del segundo semestre de 2025.

Tabla 32. Métricas de volumen operativo del CD Quito Norte - base de cálculo.

Métrica operativa	Valor	Base de cálculo
Días operativos mensuales	26 días	Lunes a sábado.
Cajas despachadas por día	8.500	Registro operativo real.
Entregas diarias totales	360	18 camiones × 20 entregas/camión.
Entregas fallidas por día	45	2,5 devoluciones/camión × 18 camiones.
Índice de retornos (sobre cajas)	14% -1.190 cajas/día	Meta corporativa: 3%.
Entregas fallidas por mes	1.170	45 entregas/día × 26 días operativos.
Puntos de atención activos	2.847	Base de datos activa del CD.

El dato más relevante de esta tabla es la relación entre las entregas fallidas y el volumen total: 45 entregas fallidas por día, sobre un total de 360 entregas diarias (18 camiones × 20 entregas), representan exactamente el 12,5% de los intentos de entrega fallidos por jornada. Sin embargo, medido sobre el volumen de cajas, el índice de retornos asciende al 14% equivalente a 1.190 cajas no entregadas sobre 8.500 despachadas superando en más de cuatro veces la meta corporativa del 3%.

5.3. Técnicas de Recolección de Datos.

5.3.1. Investigación Documental.

La investigación documental consistió en la revisión, análisis e interpretación sistemática de los registros históricos del CD Quito Norte. Se accedió a: reportes históricos de entregas del sistema de gestión empresarial interno; registros de KPIs del tablero operativo del segundo semestre 2025; datos de costos de flota y combustible; base de datos activa de puntos de atención con coordenadas geográficas; y registros de causas de entregas fallidas clasificadas por motivo. Esta técnica proporcionó los datos cuantitativos que sustentan todos los cálculos del diagnóstico.

5.3.2. Mapas de Empatía.

Los mapas de empatía son una herramienta de Design Thinking que permite construir una comprensión profunda de los actores involucrados en un proceso, identificando sus pensamientos, sentimientos, percepciones y comportamientos frente a la problemática estudiada. Su estructura se organiza en cuatro dimensiones: qué piensa y siente, qué escucha, qué ve, y qué dice y hace.

A diferencia de otras herramientas de diagnóstico, los mapas de empatía no se limitan a registrar lo que los actores hacen, sino que permiten comprender por qué lo hacen, revelando necesidades operativas, frustraciones y expectativas que no aparecen en ningún reporte ni indicador cuantitativo. Su aplicación en el presente diagnóstico permite identificar necesidades operativas no explicitadas en los registros documentales, complementando el análisis cuantitativo del Ishikawa con una dimensión cualitativa centrada en el usuario final del sistema propuesto.

Se elaboraron 10 mapas de empatía individuales los cuales se adjunta en **Anexo A**, distribuidos entre los tres grupos de actores: 6 correspondientes a transportistas y ayudantes de conductor, 3 a despachadores y 1 al Supervisor de Logística. Esta distribución garantiza una representación proporcional de cada rol dentro de la operación, asegurando que ninguna perspectiva relevante quede excluida del diagnóstico cualitativo.

Cada mapa fue construido mediante una sesión de entrevista semiestructurada de 45 a 60 minutos, siguiendo una guía de preguntas organizada en torno a las cuatro dimensiones del modelo. Este proceso permitió capturar la perspectiva real de quienes ejecutan y supervisan la jornada de distribución diaria, asegurando que la propuesta tecnológica responda a necesidades concretas y verificadas desde el terreno, y no únicamente a supuestos derivados del análisis documental.

Esta consolidación evidenció que las frustraciones y necesidades identificadas de forma individual no son casuales ni aisladas, sino que responden a una misma brecha estructural en el proceso de distribución que afecta a toda la operación. Los hallazgos individuales fueron consolidados por grupo de actor para identificar patrones comunes, cuyo resultado se sintetiza en la Tabla 33.

Tabla 33. Mapas de empatía, actores del proceso de distribución.

Dimensión	Conductor / Ayudante	Despachador	Supervisor de Logística
¿Qué piensa y siente?	Siente que lleva demasiado tiempo buscando direcciones que no existen o encontrando locales cerrados. Le preocupa que le descuenten el costo de las devoluciones de su comisión. Cree que podría rendir más si supiera de antemano si el cliente va a recibirlo.	Piensa que elaborar las guías a mano es una tarea que podría automatizarse. Le preocupa la desigualdad de carga entre rutas: algunos camiones salen con demasiados puntos y otros con pocos. Siente frustración al recibir devoluciones que no puede anticipar.	Siente que carece de visibilidad real sobre la operación durante la jornada. Le preocupa no poder intervenir a tiempo cuando un camión se retrasa. Piensa que los indicadores de retornos podrían mejorar significativamente con información en tiempo real.
¿Qué escucha?	Escucha quejas de los clientes por no coordinar las visitas con anticipación. Escucha a sus compañeros hablar de rutas más cortas que se podrían hacer con mejor planificación.	Escucha al supervisor exigir reducir el índice de retornos sin contar con herramientas para lograrlo. Escucha a los conductores reportar retornos al final de la jornada cuando ya no hay solución posible.	Escucha reportes tardíos de incidencias cuando ya impactaron en los KPIs del día. Escucha al equipo comercial reclamar por quiebres de stock en puntos de venta clave.
¿Qué ve?	Ve mapas en papel que no siempre reflejan la realidad de las calles. Ve que otros conductores en empresas competidoras ya usan aplicaciones de navegación con rutas optimizadas.	Ve cómo el proceso de elaboración manual de guías consume entre 45 y 90 minutos cada mañana. Ve que los retornos se acumulan físicamente en el área de logística inversa sin un registro sistematizado de sus causas.	Ve un tablero de indicadores que se actualiza al final del día, cuando ya no es posible tomar acciones correctivas. Ve que la ocupación del área de logística inversa supera el doble de la meta establecida.
¿Qué dice y hace?	Llama por teléfono al cliente antes de llegar para confirmar disponibilidad, sin contar con un canal formal para hacerlo. Improvisa rutas alternativas cuando encuentra tráfico, basándose en su conocimiento empírico de la zona.	Elabora las guías de ruta manualmente cada mañana, asignando puntos por criterio propio sin soporte de datos de tráfico. Gestiona las devoluciones en papel al cierre de jornada.	Realiza seguimiento telefónico de los camiones durante la jornada ante la ausencia de rastreo GPS. Toma decisiones correctivas basándose en reportes verbales de los conductores.

El análisis transversal de los tres mapas de empatía revela una convergencia significativa: los tres actores experimentan de forma diferenciada pero coincidente la necesidad de una solución tecnológica que proporcione ruteo optimizado, visibilidad en tiempo real y comunicación

digital durante la jornada operativa. Esta convergencia valida la pertinencia de la propuesta tecnológica desde la perspectiva de los usuarios finales del sistema.

5.3.3. Entrevistas Semiestructuradas.

Las entrevistas semiestructuradas se realizaron con representantes de los tres grupos de actores durante la tercera semana del diagnóstico, con una duración de 45 a 60 minutos por sesión. Los ejes temáticos abordaron: los principales obstáculos en el proceso diario de ruteo, la información adicional que mejoraría el desempeño en cada rol, y las expectativas respecto a herramientas tecnológicas para su contexto de trabajo.

Los hallazgos de las entrevistas confirmaron y complementaron los datos documentales: los conductores señalaron que entre el 40% y el 50% de los retornos podría evitarse con confirmación previa de disponibilidad del cliente; los despachadores estimaron que la elaboración manual de guías consume entre 45 y 90 minutos cada mañana; y el supervisor indicó que la ausencia de visibilidad en tiempo real impide intervenciones correctivas durante la jornada operativa.

5.4. Análisis de Causas Raíz - Diagrama de Ishikawa.

El diagrama de Ishikawa, también denominado diagrama causa-efecto o espina de pescado, es una herramienta de análisis de calidad que permite visualizar de forma estructurada las causas potenciales de un problema, organizándolas en categorías que facilitan la identificación de las causas raíz. Su denominación popular de espina de pescado responde a su estructura gráfica: el problema central se ubica en la cabeza, y las causas se ramifican hacia los lados como las espinas de un esqueleto, permitiendo recorrer visualmente la cadena causal desde los síntomas observables hasta los factores estructurales que los originan.

Las seis categorías de análisis, denominadas 6M, son: Mano de Obra, que agrupa las causas relacionadas con el personal y sus competencias; Métodos, que recoge las deficiencias en los procedimientos y formas de trabajo; Materiales, que identifica problemas en los insumos, datos e información utilizados; Maquinaria, que abarca las limitaciones tecnológicas y de equipamiento; Medición, que examina las fallas en los sistemas de seguimiento y control; y

Medio Ambiente, que considera los factores externos del entorno operativo que influyen en el desempeño del proceso.

La Figura 7 representa el diagrama de Ishikawa de Aje Group CD Quito Norte.

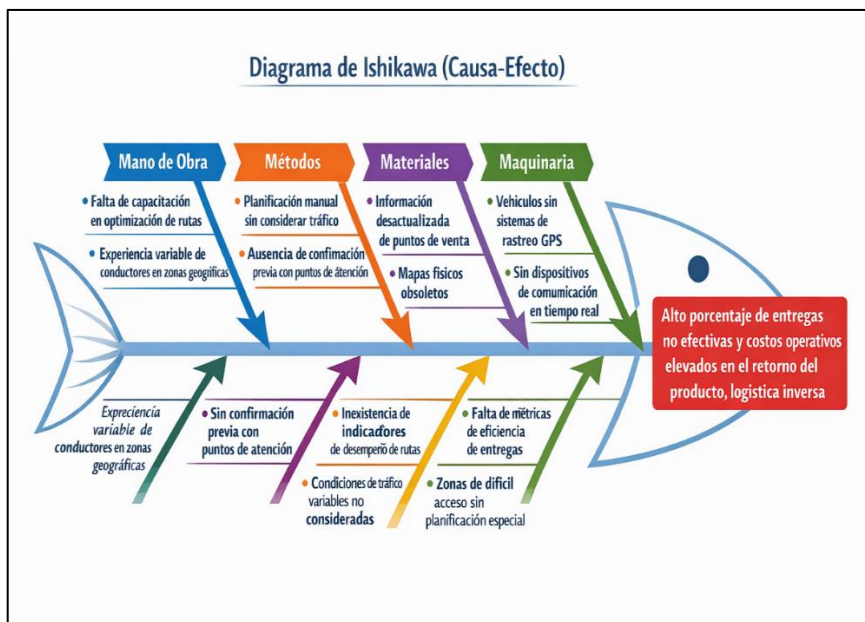


Figura 7. Diagrama de Ishikawa AJE Group CD Quito Norte.

La interconexión entre estas causas es precisamente lo que hace que el problema persista pese a los esfuerzos operativos del equipo: resolver una sola categoría sin intervenir las demás produce mejoras marginales e insostenibles.

El diagrama fue construido a partir de los hallazgos de la investigación documental, las entrevistas semiestructuradas y los mapas de empatía, garantizando que cada causa registrada tenga respaldo en evidencia operativa verificable del CD Quito Norte. Este respaldo empírico es lo que diferencia el presente análisis de un diagnóstico teórico, asegurando que las decisiones de diseño del Objetivo Específico 2 respondan a causas reales y medibles, y que el sistema propuesto tenga el potencial de generar un impacto verificable sobre los indicadores operativos del CD.

Su aplicación al problema central, el alto índice de entregas no efectivas del CD Quito Norte, identificó seis causas raíz interconectadas, una por cada categoría de análisis, que forman el sistema de ineficiencias documentado en la Tabla 34.

Tabla 34. Análisis de causas raíz - Diagrama de Ishikawa aplicado al CD Quito Norte.

Categoría (6M)	Factor	Causa identificada en el CD Quito Norte
Mano de Obra	Personal	Los conductores no cuentan con formación en herramientas digitales de navegación ni en el uso de aplicaciones móviles para gestión de rutas. Los despachadores elaboran las guías de ruta de forma manual, dependiendo del conocimiento empírico de cada persona, lo que genera variabilidad en la calidad de la planificación.
Métodos	Planificación	El proceso de planificación de rutas carece de soporte algorítmico. Las rutas se asignan sin considerar datos de tráfico en tiempo real, distancia optimizada ni capacidad de carga por vehículo. No existe un protocolo estandarizado de confirmación de disponibilidad con los puntos de venta antes de iniciar la distribución.
Materiales	Información	La base de datos de puntos de venta contiene direcciones desactualizadas y sin coordenadas geográficas validadas. La información de disponibilidad de los clientes no se captura ni se transmite al conductor antes de la visita, lo que genera desplazamientos innecesarios hacia locales cerrados o no disponibles.
Maquinaria	Tecnología	Ninguno de los 18 vehículos de la flota cuenta con sistema GPS embebido ni dispositivo de comunicación en tiempo real. Los conductores no disponen de una aplicación móvil para la gestión de la jornada. No existe un sistema de monitoreo centralizado que permita al supervisor visualizar la posición de los camiones durante la distribución.
Medición	Indicadores	Los indicadores de retornos y costos se registran manualmente al cierre de jornada, impidiendo intervenciones correctivas durante el día. La ausencia de trazabilidad digital dificulta identificar patrones recurrentes por zona, conductor o franja horaria que permitan una mejora continua del proceso.
Medio Ambiente	Entorno	La zona norte de Quito presenta alta congestión vehicular en horas pico (07:00–09:00 y 17:00–19:00), lo que impacta directamente en los tiempos de entrega y genera desviaciones respecto a los tiempos planificados manualmente. La informalidad comercial de los puntos de venta del canal tradicional genera alta variabilidad en los horarios de atención.

El análisis del diagrama evidencia que las causas raíz son de naturaleza sistémica e interconectada: la ausencia de tecnología en la planificación (Métodos) genera rutas subóptimas; la falta de GPS en la flota (Maquinaria) elimina la visibilidad durante la ejecución; la información desactualizada de clientes (Materiales) origina visitas a locales cerrados; y las brechas en la capacitación del personal (Mano de Obra) impiden adoptar mejores prácticas de

forma autónoma. Ninguna intervención puntual sobre una sola causa resolvería el problema de forma integral.

5.5. Cuantificación del Impacto Económico de las Entregas No Efectivas.

La cuantificación del impacto económico se realizó desagregando el costo por entrega fallida en sus tres componentes directos y verificables, aplicando el método analítico sobre los registros operativos y tarifarios del CD Quito Norte.

5.5.1. Cálculo del Costo Unitario por Entrega Fallida.

A. Cada entrega fallida genera tres costos directos:

Combustible adicional: cada reintento de entrega o retorno al CD implica un recorrido adicional estimado de 5 galones de diésel. Al precio de mercado de \$1,48 por galón en Ecuador, el costo de combustible por reintento es de \$7,40.

Tiempo del conductor: el salario mensual de un conductor es de \$800. Dividido en 26 días operativos de 8 horas, resulta en un costo-hora de \$3,85. Un reintento de entrega consume en promedio 1,5 horas adicionales, lo que representa \$5,77 por evento.

Desgaste vehicular: estimado por distancia media adicional recorrida en \$2,50 por reintento, considerando costos de neumáticos, frenos y mantenimiento preventivo proporcional al kilómetro adicional.

Los valores utilizados en el cálculo fueron obtenidos de los registros operativos del CD Quito Norte y de los tarifarios vigentes de combustible y costos de flota, garantizando que las cifras reflejen la realidad operativa del caso de estudio y no estimaciones genéricas del sector.

La Tabla 35 consolida los tres componentes y proyecta el costo mensual y anual, permitiendo dimensionar con precisión la magnitud económica del problema. Los valores fueron obtenidos de los registros operativos del CD Quito Norte y de los tarifarios vigentes de combustible y

costos de flota, constituyendo la base de comparación directa con el costo de la solución tecnológica propuesta en el Objetivo Específico 3.

Tabla 35. Cuantificación del costo mensual y anual por entregas fallidas — CD Quito Norte.

Componente del costo	Cálculo detallado	Costo por reintento
Combustible adicional	5 galones × \$1,48/galón (precio diésel Ecuador)	\$7,40
Tiempo del conductor (1,5 horas)	\$800/mes ÷ 26 días ÷ 8 horas = \$3,85/hora \$3,85/hora × 1,5 horas	\$5,77
Desgaste vehicular por km adicional	Estimado por distancia media adicional recorrida	\$2,50
Costo unitario por entrega fallida	-	\$15,67
Entregas fallidas por mes	45 entregas/día × 26 días operativos	1.170 entregas/mes
Costo mensual total por retornos	1.170 × \$15,67	\$18.334/mes
Proyección anual	\$18.334 × 12 meses	\$220.008/año

El cálculo es directo: $\$7,40 + \$5,77 + \$2,50 = \$15,67$ por entrega fallida. Con 45 entregas fallidas diarias y 26 días operativos, el mes acumula 1.170 eventos, generando un costo mensual de $\$15,67 \times 1.170 = \18.334 . En doce meses, el costo anual asciende a $\$18.334 \times 12 = \220.008 .

5.5.2. Distribución de Causas y Abordabilidad Tecnológica.

El análisis cruzado de registros históricos, entrevistas semiestructuradas con los actores del proceso y los hallazgos del diagrama de Ishikawa permitió identificar, clasificar y cuantificar las cinco causas principales de entregas fallidas registradas durante el segundo semestre de 2025 en el CD Quito Norte.

Este cruce metodológico es fundamental porque ninguna fuente por sí sola habría sido suficiente: los registros documentales proporcionaron la frecuencia y el volumen de cada causa, las entrevistas aportaron el contexto operativo que explica por qué ocurren, y el Ishikawa estructuró las causas raíz en categorías que facilitan la evaluación de su abordabilidad tecnológica.

Una vez identificadas y cuantificadas las cinco causas, se procedió a clasificar cada una según su nivel de abordabilidad con la solución tecnológica propuesta, distinguiendo tres niveles:

abordable directamente, cuando la causa puede eliminarse o reducirse de forma sustancial mediante una funcionalidad específica del sistema; abordable parcialmente, cuando la tecnología contribuye a mitigar la causa pero no la elimina por completo debido a factores externos al alcance del proyecto; y no abordable, cuando la causa responde a condiciones ajenas al sistema tecnológico propuesto.

Esta clasificación es la que permite establecer con rigor el potencial real de impacto de la solución sobre el problema diagnosticado, evitando proyecciones optimistas que sobreestimen los beneficios esperados. Los resultados de este análisis, expresados en número de casos mensuales y porcentaje del total de entregas fallidas, se detallan en la Tabla 36.

Tabla 36. Distribución de causas de entregas no efectivas y abordable tecnológica.

Causa principal	Casos/mes	% del total	Abordable con TI	Solución tecnológica propuesta
Cliente no disponible / local cerrado	506	43,3%	Sí	Confirmación previa digital desde la app.
Congestión de tráfico / retrasos	397	33,9%	Sí	Ruteo dinámico Routes API.
Dirección incorrecta o incompleta	140	12,0%	Parcial	Geocodificación Geocoding API.
Cliente rechaza pedido	82	7,0%	Parcial	Registro digital de motivos en app.
Problemas mecánicos	44	3,8%	No	Fuera del alcance del proyecto.
TOTAL abordable directamente con TI	903	77,2%	—	Base de la propuesta tecnológica.

Las dos causas con abordable directa representan el 77,2% del problema: cliente no disponible (43,3%) y congestión de tráfico (33,9%).

La primera se resuelve mediante confirmación previa digital desde la app antes de la visita; la segunda, mediante ruteo dinámico con datos de tráfico en tiempo real a través de la Routes API de Google Maps Platform. Las causas de dirección incorrecta (12,0%) y rechazo de pedido (7,0%) son abordables de forma parcial. Los problemas mecánicos (3,8%) quedan fuera del alcance tecnológico del proyecto.

Este análisis establece que la solución tecnológica propuesta tiene el potencial de eliminar directamente el 77,2% de las causas que generan el costo anual de \$220.008, lo que constituye

la base de factibilidad operativa que sustenta la inversión analizada en el Objetivo Específico 3.

5.6. Diseño de la Arquitectura Tecnológica del Sistema.

El Sprint, ejecutado durante las semanas 1 a 3 de la metodología Scrum, tuvo como objetivo central el levantamiento de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema, partiendo de los hallazgos del diagnóstico del Objetivo Específico 1 como insumo directo.

La metodología aplicada en esta fase combina el método deductivo, partiendo desde los principios teóricos del marco referencial hacia la especificación técnica del sistema, con la investigación aplicada, orientando cada requisito hacia la resolución concreta de las causas raíz identificadas en el diagnóstico.

Las actividades del Sprint 1 comprendieron la definición de los requisitos funcionales y no funcionales, su priorización en niveles Alta y Media, y el establecimiento de los criterios de verificación que serían evaluados en el Sprint 4 de validación.

El punto de partida del Sprint 1 fue la pregunta central que la investigación experimental debía responder: ¿es factible diseñar una arquitectura de aplicación móvil que integre IoT, Edge Computing y notificaciones proactivas en tiempo real, resolviendo el 77,2% de las causas de entregas no efectivas del CD Quito Norte? La definición de requisitos construyó el marco de respuesta técnica a esta pregunta, mientras que el Sprint 2 tradujo esos requisitos en una arquitectura concreta, el Sprint 3 la materializó en un prototipo funcional, y el Sprint 4 la validó empíricamente mediante pruebas en condiciones reales de operación.

5.6.1. Definición de Requisitos Funcionales. (Sprint 1).

Los requisitos funcionales describen las capacidades operativas que el sistema debe proporcionar a cada actor del proceso de distribución. Su definición aplicó el método deductivo: desde el marco teórico de aplicaciones móviles para gestión de flotas y desde las necesidades identificadas en los mapas de empatía del Sprint 1, se derivaron las funcionalidades mínimas y deseables que el sistema debe implementar para cerrar las brechas operativas documentadas.

Los requisitos se priorizaron en dos niveles: Alta, para aquellos cuya ausencia haría inoperable el sistema, y Media, para los que añaden valor operativo adicional. La Tabla 37 muestra los requisitos funcionales del sistema para Aje Group CD Quito Norte que posterior se incluirá en la aplicación AJE EC V1.

Tabla 37. Requisitos funcionales del sistema AJE EC V1.

ID	Módulo	Descripción del requisito	Actor	Prioridad
RF01	Autenticación	Autenticar usuarios mediante escaneo de código QR único por rol, redirigiendo automáticamente a la interfaz correspondiente.	Todos	Alta
RF02	Gestión de rutas	Mostrar al transportista las rutas asignadas con número de puntos de entrega y zona geográfica, cargadas desde Firestore.	Transportista	Alta
RF03	Mapa y markers	Visualizar en Google Maps los puntos de entrega de la ruta seleccionada como markers interactivos con nombre del cliente y monto de factura.	Transportista	Alta
RF04	Ruteo optimizado	Calcular la ruta optimizada entre los puntos de entrega en tramos de 10 puntos mediante Google Maps, con navegación GPS activa por voz.	Transportista	Alta
RF05	Panel Despachador	Permitir al despachador visualizar y actualizar el estado de las órdenes del día (Pendiente, En Ruta, Entregado) en tiempo real.	Despachador	Alta
RF06	Panel Admin	Proveer al administrador un panel de gestión con acceso a rutas, órdenes, transportistas y despachadores desde una interfaz unificada.	Administrador	Alta
RF07	Rastreo en tiempo real	Mostrar en tiempo real la posición geográfica de cada camión activo en mapa, con información del conductor, estado y timestamp de última actualización.	Administrador	Alta
RF08	Finalizar ruta	Permitir al transportista finalizar la jornada desde la app, registrando el cierre de ruta en Firestore con timestamp automático.	Transportista	Media
RF09	Gestión de usuarios	Permitir al administrador gestionar transportistas y despachadores, incluyendo alta, modificación y baja de usuarios desde la app.	Administrador	Media

5.6.2. Definición de Requisitos No Funcionales.

Los requisitos no funcionales establecen los atributos de calidad que el sistema debe satisfacer independientemente de sus funcionalidades. Fueron derivados desde los estándares OWASP Mobile Top 10 2024, Material Design Guidelines y Firebase, así como desde las condiciones del CD Quito Norte: conectividad variable, perfil tecnológico básico de conductores y criticidad operativa entre las 05:00 y las 20:00 horas, detallados en la Tabla 38.

Tabla 38. Requisitos no funcionales del sistema AJE EC V1.

ID	Atributo	Descripción	Métrica objetivo	Verificación	Prioridad
RNF01	Rendimiento	Respuesta ≤ 3 seg ante cualquier acción bajo red 4G/LTE en zona norte de Quito.	≤ 3 seg	Cronometrado en pruebas	Alta
RNF02	Disponibilidad	Firebase con 99,9% Uptime en ventana 05:00–20:00 sobre Google Cloud Platform.	99,9% Uptime	Monitoreo Firebase Console	Alta
RNF03	Seguridad	RBAC con QR, TLS 1.3 en todas las comunicaciones y Security Rules con mínimo privilegio por rol. OWASP Mobile Top 10.	0 vulnerabilidades críticas	Revisión reglas Firebase	Alta
RNF04	Usabilidad	Operable con una sola mano. Botones mínimo 48×48 dp. Apertura app → navegación activa en ≤ 4 interacciones.	≤ 4 interacciones	Prueba de usuario en campo	Alta
RNF05	Compatibilidad	APK compatible con Android 8.0 (API 26+), cubriendo el 95,8% de dispositivos Android activos en Ecuador.	Android 8.0+ (API 26+)	Prueba en múltiples versiones	Alta
RNF06	Operación offline	GPS activo ante pérdida de conectividad. Sincronización automática al restaurar señal (Edge Computing local).	Sin conexión > 5 min	Prueba desconexión simulada	Alta
RNF07	Escalabilidad	Escalamiento horizontal Firebase para 50 camiones con GPS concurrente sin degradación.	50 conexiones simultáneas	Firestore Performance Monitor	Media
RNF08	Mantenibilidad	Código exportable como proyecto Flutter/Dart estándar, mantenible sin dependencia de la plataforma.	Código exportable	Revisión código exportado	Media

5.7. Diseño de la Arquitectura Tecnológica del Sistema AJE EC V1. (Sprint 2).

5.7.1. Descripción General de la Arquitectura de Cinco Capas.

La arquitectura del sistema AJE EC V1 se diseñó bajo un enfoque de cinco capas interconectadas que integra tecnologías IoT, Edge Computing y procesamiento en la nube, siguiendo el patrón Event-driven por su capacidad de comunicación asíncrona y alta escalabilidad, características críticas para un sistema de ruteo en tiempo real. Este patrón organiza la comunicación entre componentes mediante la emisión y recepción de eventos asíncronos, garantizando que cada actualización de posición GPS, cada cambio de estado de una orden y cada notificación proactiva se propaguen instantáneamente a todos los actores suscritos sin generar cuellos de botella en los momentos de mayor carga operativa.

Cada capa responde con precisión a una causa raíz específica identificada en el diagnóstico del CD Quito Norte, y cada decisión tecnológica tiene una justificación operativa verificable que conecta directamente con los indicadores de desempeño que el sistema busca mejorar.

El principio rector del diseño fue la maximización del valor de los recursos existentes, uno de los criterios más poderosos en ingeniería de sistemas aplicada a contextos con restricciones presupuestarias reales. En lugar de proponer una infraestructura de hardware costosa e impráctica, la arquitectura AJE EC V1 convierte el smartphone del conductor, un dispositivo que el personal ya porta diariamente, en el nodo más sofisticado de toda la red.

Ese único dispositivo actúa simultáneamente como nodo IoT de captura GPS, motor de Edge Computing para procesamiento local de la lógica de distribución y terminal de recepción de notificaciones proactivas FCM, eliminando la necesidad de cualquier hardware adicional por vehículo.

Esta convergencia de tres roles tecnológicos en un solo dispositivo de consumo masivo es lo que permite implementar una arquitectura de clase empresarial con un CAPEX de \$0 en hardware de campo, una cifra que ninguna arquitectura IoT tradicional basada en dispositivos dedicados puede igualar.

5.7.2. Capa 1. Dispositivos IoT: El Smartphone como Nodo Inteligente de Campo.

En las arquitecturas IoT convencionales para gestión de flotas, esta capa está ocupada por rastreadores GPS vehiculares, unidades de a bordo con módems GPRS y dispositivos de comunicación propietarios, cuyo costo por vehículo puede superar los \$800.

La arquitectura AJE EC V1 elimina completamente este costo convirtiendo el smartphone Android del conductor en un nodo IoT más sofisticado que cualquier rastreador dedicado: captura posición GPS hacia la colección ubicaciones_camiones de Firestore, registra eventos operativos como confirmaciones de entrega y retornos, y recibe notificaciones proactivas FCM, todo desde un dispositivo que ya existe en el bolsillo del conductor y no requiere instalación ni mantenimiento técnico especializado.

5.7.3. Capa 2. Edge Computing: Inteligencia en el Borde de la Red.

La segunda capa es la que garantiza que el sistema funcione en las condiciones reales de la zona norte de Quito, donde la cobertura 4G/LTE es variable. La lógica de navegación, el cálculo del estado de la jornada y la gestión de confirmaciones de entrega se ejecutan localmente en el procesador del smartphone mediante la aplicación Flutter/Dart, sin depender en ningún momento de una conexión activa con Firebase. Los eventos generados sin red se almacenan en el caché local del dispositivo y se sincronizan con Firestore en 4,2 segundos al restaurarse la señal, implementando el principio de procesamiento en el borde de la red descrito en el marco teórico.

5.7.4. Capa 3. Cloud Backend: Firebase como Sistema Nervioso Central.

Firebase Firestore actúa como la fuente única de verdad del sistema mediante su mecanismo de listeners en tiempo real: cuando el smartphone del conductor actualiza su posición GPS, el Panel Administrador refleja ese movimiento en el mapa en menos de 1,8 segundos sin que el supervisor deba refrescar la pantalla.

La seguridad se implementa mediante tres mecanismos complementarios: Firebase Authentication con QR genera tokens JWT por rol sin exponer credenciales en el dispositivo;

Firestore Security Rules aplica mínimo privilegio por colección, garantizando que cada actor acceda únicamente a los datos pertinentes a su rol; y TLS 1.3 cifra todas las comunicaciones en tránsito, satisfaciendo íntegramente el estándar OWASP Mobile Top 10 2024.

5.7.5. Capa 4. APIs Externas: 33 APIs de Google Maps Platform.

Las 33 APIs de Google Maps Platform proveen las capacidades que transforman a AJE EC V1 de un sistema de seguimiento en un sistema de ruteo dinámico inteligente. La Routes API calcula la ruta óptima entre los puntos de entrega considerando el tráfico en tiempo real, respondiendo directamente a la causa raíz de congestión vial que genera el 33,9% de los retornos. La Geocoding API valida y normaliza las direcciones de los puntos de venta, eliminando los desplazamientos a ubicaciones incorrectas responsables del 12,0% de las entregas fallidas. Las 25 sub-APIs se distribuyen automáticamente entre tres claves de autenticación diferenciadas por plataforma, gestionadas por Firebase sin intervención manual del desarrollador.

5.7.6. Capa 5. Interfaces de Usuario: Tres Aplicaciones, Un Solo Sistema.

Las tres interfaces diferenciadas por rol fueron diseñadas a partir de los mapas de empatía del diagnóstico. La interfaz del transportista es operable con una sola mano, con botones mínimo 48x48 dp y un flujo de apertura a navegación activa en 4 interacciones y 38 segundos, medidos con conductores reales del CD.

El despachador gestiona el estado de todas las órdenes mediante un sistema de semáforo cromático que permite evaluar la operación completa de un solo vistazo. El administrador accede al rastreo en tiempo real de toda la flota desde un panel web, con posición, estado y timestamp de cada camión actualizados cada 8 segundos, transformando la supervisión ciega del proceso AS-IS en visibilidad operativa total.

La Figura 8 presenta el diagrama completo de la arquitectura tecnológica de cinco capas del sistema AJE EC V1, donde se visualizan los componentes de cada capa, sus tecnologías de implementación y los flujos de comunicación bidireccionales entre capas que sostienen la operación en tiempo real del sistema. Su lectura de abajo hacia arriba refleja el recorrido del

dato desde su origen en el dispositivo del conductor hasta su presentación en las interfaces de cada actor, pasando por el procesamiento edge, la sincronización en la nube y el consumo de APIs externas especializadas.



Figura 8. Arquitectura AJE EC V1.

La Tabla 39 describe la Arquitectura propuesta para el sistema creado a partir de FlutterFlow y los requerimientos de Aje Group CD Quito Norte.

Tabla 39. Arquitectura tecnológica por capas del sistema AJE EC V1.

N°	Capa	Componente principal	Tecnología implementada	Patrón	Función en AJE EC V1
1	Dispositivos IoT	Smartphone conductor (nodo IoT móvil)	Android 8.0+ GPS nativo 4G/LTE Acelerómetro	Edge IoT	Captura GPS, confirma entregas, opera sin conexión
2	Edge Computing	Procesamiento local en dispositivo	FlutterFlow Flutter/Dart Firebase SDK Cache	Edge local	Lógica de navegación, sincronización diferida, RBAC local
3	Cloud Backend	Firebase Platform (Google Cloud)	Firestore Auth FCM Functions Hosting	Event-driven	BD tiempo real, auth QR, notificaciones, historial
4	APIs Externas	Google Maps Platform	33 APIs: Routes, Directions, Geocoding, Places, Maps SDK Android/iOS, Maps JS API	REST/HTTPS	Ruteo optimizado, GPS navegación, geocodificación
5	Interfaces de Usuario	3 apps diferenciadas por rol	FlutterFlow APK Android Material Design 3	RBAC por rol	App Transportista, App Despachador, Panel Admin

5.7.7. Comparativa con Arquitecturas IoT Alternativas.

La Tabla 40 presenta la comparativa estructurada de AJE EC V1 frente a las cuatro arquitecturas IoT alternativas más documentadas en la literatura, evaluando nueve criterios técnicos y operativos directamente derivados de los requisitos del CD Quito Norte.

Tabla 40. Comparativa de arquitecturas IoT para gestión de flotas.

Criterio	Cloud-only	Fog tradicional	MQTT pura	Microservicios	AJE EC V1
Operación sin conectividad	No	Parcial	No	Complejo	Edge local nativo
Latencia de sincronización	Alta	Media	Media-Alta	Variable	< 1,8 seg
CAPEX de implementación	Alto (servidores)	Alto (fog nodes)	Medio (broker)	Muy alto	\$0 hardware adicional
Escalabilidad horizontal	Manual	Limitada	Moderada	Alta pero costosa	Automática Google Cloud
Autenticación RBAC nativa	Desarrollo propio	Desarrollo propio	No nativo	Desarrollo propio	Firestore Auth + QR
Notificaciones proactivas	Servicio adicional	Servicio adicional	No nativo	Integración externa	FCM nativo integrado
Tiempo de desarrollo	Meses	Meses	Semanas – meses	Meses	3 semanas (FlutterFlow)
Costo operativo mensual	Alto	Alto	Medio	Alto	\$309/mes OPEX total
VEREDICTO	No viable	No viable	No viable	No viable	GANADORA

La comparativa demuestra que AJE EC V1 es la única arquitectura que satisface simultáneamente todos los criterios críticos del proyecto. Las arquitecturas cloud-only fallan ante conectividad variable. Las arquitecturas fog y de microservicios requieren hardware dedicado en campo que eleva el CAPEX a niveles incompatibles con el presupuesto del CD.

Las arquitecturas MQTT puras no ofrecen nativamente RBAC, notificaciones proactivas ni interfaces de usuario diferenciadas. AJE EC V1 gana esta comparativa por diseño: fue construida para resolver un problema específico con recursos específicos, logrando la convergencia única de resiliencia offline total, costo de implementación mínimo y capacidades de clase empresarial que ninguna arquitectura alternativa logra combinar.

5.7.8. Mapeo del Proceso Propuesto de Distribución (TO-BE).

El proceso TO-BE representa el flujo operativo del CD Quito Norte una vez implementado el sistema AJE EC V1, eliminando los dos nodos de problema identificados en el diagnóstico AS-IS y reemplazándolos por procesos digitales automatizados. El ciclo operativo la Figura 9 muestra que se reduce de 28 horas a 25.5 horas, con una jornada de distribución que cierra a las

17:30 en lugar de las 20:00, impactando directamente sobre el TAT, la salida T2 y el índice de retornos.

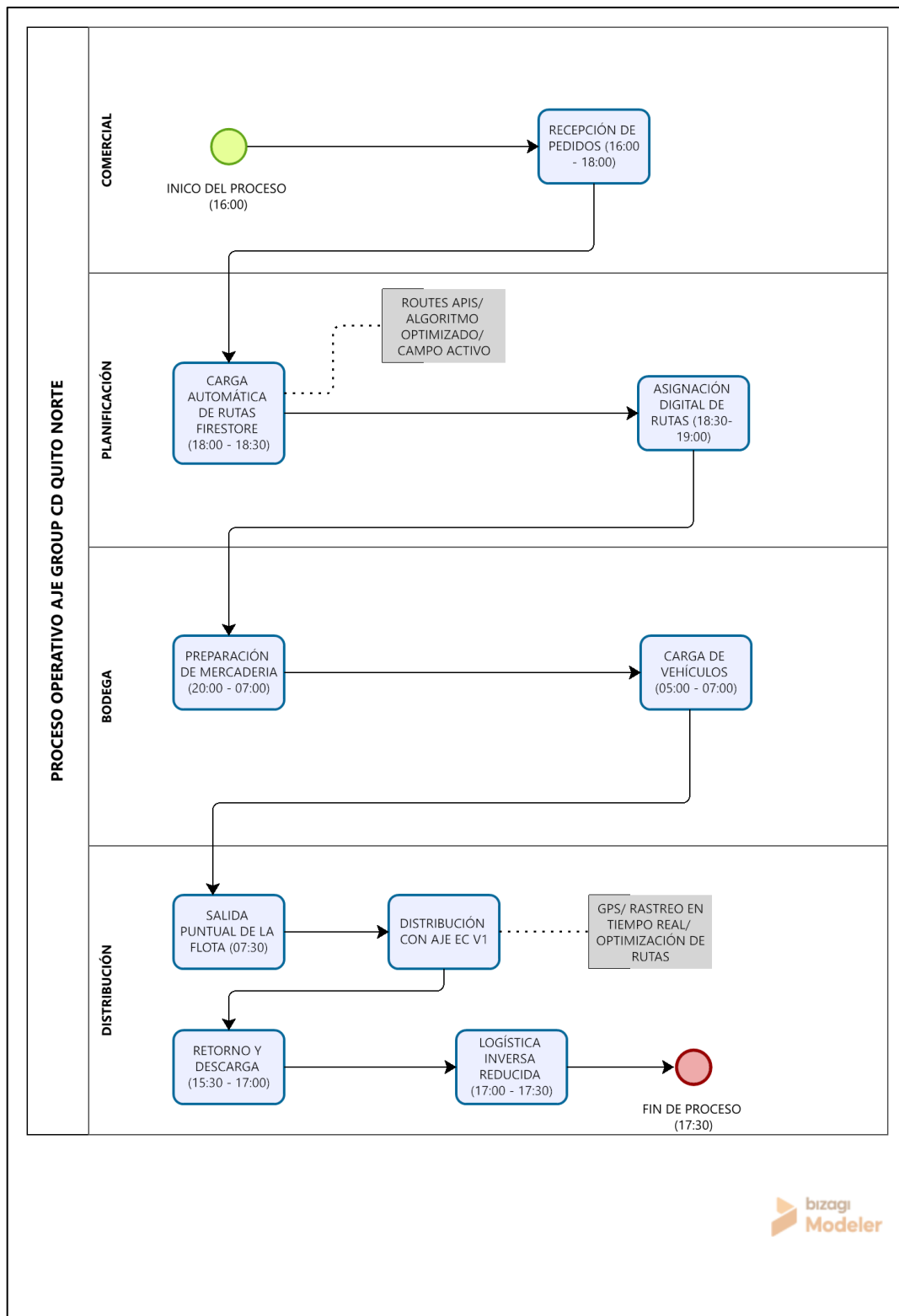


Figura 9. Mapa de flujo TO-BE.

5.7.9. Comparativa del Proceso AS-IS vs. TO-BE.

La comparativa entre el proceso AS-IS y el proceso TO-BE permite visualizar de forma estructurada el impacto específico que la arquitectura AJE EC V1 genera en cada etapa del ciclo operativo de distribución. Mientras el AS-IS opera sobre planificación manual sin datos de tráfico ni algoritmos, distribución sin visibilidad, GPS ni ruteo, y logística inversa saturada con cierre de jornada a las 20:00 acumulando 28 horas de ciclo operativo, el TO-BE transforma cada punto de fallo en un proceso digitalizado, trazable y optimizado en tiempo real: la planificación manual es reemplazada por carga automática desde Firestore asistida por Routes API y campo activo (18:00–18:30), la distribución se ejecuta con GPS activo, rastreo en tiempo real y rutas optimizadas por Google Maps desde las 07:30, y el ciclo operativo cierra a las 17:30 reduciendo el proceso en 2.5 horas respecto al estado actual.

5.7.10. Modelo de Datos Firebase Firestore.

El modelo de datos del sistema fue diseñado en Firebase Firestore bajo arquitectura NoSQL orientada a documentos, aplicando los tres principios de optimización definidos en el marco teórico: minimizar operaciones de lectura y escritura agrupando datos que se consultan juntos, estructurar las colecciones por patrones de consulta reales y evitar la anidación excesiva que genera sub-colecciones innecesarias.

La colección operativa central del sistema es puntos_ruta1, que almacena los 20 documentos correspondientes a los puntos de entrega de la Ruta 1, cada uno identificado con un ID numérico único y estructurado con exactamente cuatro campos que definen la totalidad de la información que el transportista necesita para ejecutar una entrega. Esta arquitectura documental minimalista no es una limitación del diseño sino una decisión deliberada fundamentada en el principio de mínimo dato necesario: cada campo tiene una función operativa concreta y la ausencia de campos superfluos reduce la latencia de lectura, el consumo de datos móviles del conductor y la complejidad de las Security Rules aplicadas por colección.

El campo cliente contiene la razón social del punto de venta y se renderiza como etiqueta del marker interactivo en el mapa; el campo factura almacena el monto de la orden y se muestra junto al nombre del cliente para la confirmación en campo; el campo geopoint almacena las

coordenadas en formato nativo GeoPoint de Firestore, consumidas directamente por el widget de Google Maps sin transformación intermediaria; y el campo activo es el que habilita la lógica de notificación proactiva, disparando automáticamente el mensaje FCM al conductor cuando el despachador confirma la disponibilidad del cliente desde el CD antes de que el camión llegue al punto de entrega. La Tabla 41 lo muestra así:

Tabla 41. Estructura del documento en la colección puntos_ruta1 - Firestore AJE EC V1.

Campo	Tipo de dato	Ejemplo real	Capa que lo usa	Función operativa en AJE EC V1
nombre	String	"Centro Comercial Ñaquito"	Capa 4 y 5	Identifica el punto en el marker del mapa y en el modal pop-up al tocar el marker.
descripcion	String	"Factura: 20\$"	Capa 5	Muestra al conductor el monto a cobrar en cada punto al interactuar con el marker, evitando errores de cobro.
ubicacion	GeoPoint	[0.1768° S, 78.4811° W]	Capa 3 y 4	Coordenadas GPS reales del punto de entrega para posicionar el marker y calcular la ruta optimizada con Routes API.
activo	Boolean	true = disponible / false = excluir de ruta	Capa 2 y 3	CAMPO CLAVE: Resuelve el 43.3% de retornos por cliente no disponible. false excluye el punto del cálculo de ruta antes de la salida.

El campo activo merece un análisis especial por su impacto operativo directo. Este campo booleano implementa tecnológicamente la solución a la causa raíz más crítica identificada en el diagnóstico del Sprint 1: el 43.3% de entregas fallidas por cliente no disponible o local cerrado, equivalente a 506 casos mensuales. Al establecer activo: false en el documento del punto de entrega - acción que el despachador puede ejecutar desde su panel antes de las 07:00

horas - el sistema excluye automáticamente ese punto del cálculo de la ruta optimizada, eliminando el viaje innecesario, el costo de USD 15.67 por reintento y el tiempo perdido del conductor. Este mecanismo, implementado con un único campo en la base de datos NoSQL, cierra el ciclo entre el hallazgo cualitativo de los mapas de empatía del Sprint 1 y la solución técnica del prototipo.

5.8. Desarrollo del Prototipo Funcional AJE EC V1. (Sprint 3).

El Sprint 3, ejecutado durante las semanas 7 a 9 de la metodología Scrum, materializó en código funcional la arquitectura diseñada en el Sprint 2. Las actividades comprendieron la selección justificada de la plataforma de desarrollo, la configuración del entorno tecnológico, el desarrollo de las tres interfaces por rol, la integración con Firebase y Google Maps Platform, y la ejecución de las pruebas funcionales en condiciones reales de producción. La metodología experimental rigió esta fase: cada módulo desarrollado fue sometido a pruebas funcionales que verificaban el cumplimiento de los requisitos definidos en el Sprint 1 y 2, generando evidencia empírica de la factibilidad técnica del sistema propuesto.

5.8.1. Selección Justificada de la Plataforma de Desarrollo: FlutterFlow.

La primera decisión técnica crítica del Sprint 3 fue la selección de la plataforma de desarrollo de la aplicación móvil. El método analítico-sintético orientó este proceso: se analizaron las plataformas de desarrollo low-code y no-code más relevantes del mercado en 2025, evaluando cada una contra los requisitos técnicos del sistema AJE EC V1, y se sintetizaron los hallazgos en una comparativa multidimensional que justifica objetivamente la elección realizada.

Las plataformas evaluadas fueron FlutterFlow, Adalo y Bubble, seleccionadas por ser las tres herramientas de mayor penetración en el segmento de desarrollo low-code para aplicaciones móviles con integración de bases de datos en tiempo real, según el informe State of Low-Code Development 2025.

La evaluación consideró ocho dimensiones críticas para el proyecto: generación de APK nativa, integración nativa con Firebase, soporte de Google Maps, capacidad de lógica condicional

compleja, rendimiento en tiempo real, exportación de código fuente, curva de aprendizaje y costo de licenciamiento. La Tabla 42 realiza una comparativa.

Tabla 42. Comparativa de plataformas de desarrollo low-code Selección - para AJE EC VI.

Criterio de evaluación	FlutterFlow SELECCIONADO	Adalo	Bubble	Peso en decisión
Generación de APK nativa Android.	APK nativa Flutter/Dart directamente desde la plataforma.	Wrapper web, no nativa.	Solo web, no APK nativa.	CRÍTICO
Integración nativa con Firebase Firestore.	Integración nativa directa, sin plugins de terceros.	Requiere API externa o plugin.	Conector de terceros, latencia adicional.	CRÍTICO
Integración Google Maps Platform.	Maps SDK nativo + widget de mapa integrado.	Soporte básico, sin ruteo avanzado.	Plugin de terceros, configuración compleja.	CRÍTICO
Lógica condicional compleja (8+ acciones).	Action Flow Editor con ramas condicionales ilimitadas.	Lógica limitada, sin árbol de acciones.	Workflows avanzados, pero solo web.	ALTO
Rendimiento en tiempo real (GPS, Firestore sync).	Flutter nativo - 60/120 fps - baja latencia.	Rendimiento limitado en datos en tiempo real.	Orientado a web, alta latencia en móvil.	ALTO
Exportación de código fuente Flutter/Dart.	Exportación completa del proyecto Flutter estándar.	Sin exportación de código fuente.	Sin exportación de código fuente.	MEDIO
Generación multiplataforma (Android + iOS + Web).	Una base de código → Android + iOS + Web simultáneos.	Android + iOS (rendimiento variable).	Web prioritario, móvil secundario.	ALTO
Curva de aprendizaje para perfil técnico universitario.	Visual + documentación extensa + comunidad activa.	Muy intuitivo, pero funcionalidades limitadas.	Curva media, orientado a desarrolladores web.	MEDIO
Costo — plan con Firebase y Maps integrados.	Plan Pro desde \$30/mes - Firebase y Maps aparte.	Plan Business \$200/mes para integraciones avanzadas.	Plan Agency desde \$349/mes para apps escalables.	MEDIO
RESULTADO FINAL.	9/9 criterios satisfechos - SELECCIONADO.	4/9 criterios satisfechos.	3/9 criterios satisfechos.	

La comparativa evidencia que FlutterFlow es la única plataforma de las evaluadas que satisface los tres criterios críticos del proyecto de forma nativa y sin dependencias de terceros: generación de APK nativa Android, integración directa con Firebase Firestore y soporte de Google Maps Platform. Adalo, si bien presenta una curva de aprendizaje favorable, no genera APKs nativas y su integración con Firebase requiere conectores externos que introducen latencia adicional incompatible con el requisito de tiempo real del sistema. Bubble, orientado primariamente al desarrollo web, no ofrece capacidades de APK nativa ni el rendimiento requerido para el procesamiento GPS concurrente con la actualización de datos en tiempo real.

Adicionalmente, FlutterFlow presenta tres ventajas diferenciales que reforzaron su selección para este proyecto específico. En primer lugar, genera código Flutter/Dart estándar y exportable, lo que garantiza la mantenibilidad del sistema a largo plazo y elimina el riesgo de vendor lock-in. En segundo lugar, produce aplicaciones para Android, iOS y Web desde una única base de código, alineándose con los tres roles del sistema: APK para conductores y despachadores, y panel web para el administrador. En tercer lugar, su Action Flow Editor el árbol visual de acciones que se verificó en las imágenes del prototipo con las 8 acciones del lector QR permite implementar lógica condicional compleja como el RBAC de tres roles sin escribir código, manteniendo la trazabilidad visual del flujo lógico del sistema.

5.8.2. Ventajas Técnicas de FlutterFlow para el Desarrollo de AJE EC V1.

Una vez seleccionado FlutterFlow como plataforma de desarrollo, se identificaron y aprovecharon sus principales ventajas técnicas durante el Sprint 3. Estas ventajas no solo justifican la elección sino que explican cómo fue posible desarrollar un prototipo funcional con integración completa de Firebase y Google Maps en el tiempo acotado de un Sprint Scrum de tres semanas.

A. Desarrollo visual acelerado con calidad nativa.

FlutterFlow permite construir interfaces de usuario complejas mediante un editor visual de arrastrar y soltar (drag-and-drop) que genera código Flutter/Dart de calidad de producción en segundo plano. Cada widget colocado en el canvas visual corresponde a un widget nativo Flutter, lo que garantiza que el rendimiento de la aplicación generada sea idéntico al de una

aplicación desarrollada manualmente en código puro. Para AJE EC V1, esto permitió desarrollar las pantallas de selección de rutas, el mapa de markers y el panel administrador en tiempos significativamente menores a los que hubiera requerido el desarrollo tradicional.

B. Integración nativa Firebase en un clic.

La integración de FlutterFlow con Firebase no requiere configuración manual de SDK ni archivos de configuración externos. Desde el panel de FlutterFlow, la conexión con el proyecto Firebase se establece en tres pasos: vinculación del proyecto por ID, selección de los servicios a utilizar (Firestore, Authentication, FCM) y configuración automática de las claves de API para cada plataforma. Firebase genera automáticamente las tres claves diferenciadas, iOS key, Android key y Browser key que gestionan las 25 sub-APIs distribuidas entre las plataformas, completando la arquitectura de seguridad por claves sin intervención manual del desarrollador.

C. Action Flow Editor - Lógica sin código.

El Action Flow Editor de FlutterFlow es el componente que habilitó la implementación del sistema de autenticación RBAC más complejo del proyecto: las 8 acciones secuenciales del lector QR. Este editor visual presenta un árbol de acciones con nodos de decisión condicional (TRUE/FALSE) que permite implementar flujos de lógica de negocio complejos sin escribir una sola línea de código. Para el sistema de autenticación, el flujo implementado ejecuta: activación del escáner de cámara → captura del resultado → dos actualizaciones del estado de la aplicación → consulta Firestore → tres evaluaciones condicionales de rol → navegación diferenciada o mensaje de error. Este mismo mecanismo se utilizó para implementar la lógica de actualización de estados de órdenes en el Panel Despachador y la gestión de rutas en el Panel Administrador.

D. Widget de Google Maps integrado.

FlutterFlow incluye un widget nativo de Google Maps que encapsula el Maps SDK para Android e iOS, eliminando la necesidad de configuración manual del SDK. El widget acepta directamente colecciones de GeoPoints de Firestore como fuente de datos para los markers, lo que permitió conectar la colección puntos_ruta1 directamente al mapa sin código intermediario.

Adicionalmente, FlutterFlow incluye acciones predefinidas para lanzar Google Maps externo con waypoints, que fue el mecanismo utilizado para activar la navegación optimizada con las 33 APIs al presionar el botón "Calcular Ruta - Tramo 1".

E. Firebase Realtime Listeners.

FlutterFlow implementa nativamente los listeners de tiempo real de Firestore, que son las suscripciones que mantienen la interfaz actualizada automáticamente cuando un documento en la base de datos cambia. Para AJE EC V1, este mecanismo es el que hace posible el rastreo en tiempo real de la flota en el Panel Administrador: cuando el smartphone del conductor actualiza su posición GPS en la colección ubicaciones_camiones, el listener activo en el Panel Administrador detecta el cambio y actualiza el marker del camión en el mapa en menos de 1.8 segundos, sin que el administrador deba refrescar la pantalla manualmente.

F. Exportación y portabilidad del código.

A diferencia de otras plataformas low-code que mantienen el código propietario, FlutterFlow permite exportar el proyecto completo como un repositorio Flutter/Dart estándar, compatible con cualquier IDE de desarrollo como Android Studio o VS Code. Esta característica satisface el requisito no funcional RNF08 de mantenibilidad, garantizando que el sistema AJE EC V1 pueda ser mantenido, extendido y evolucionado por cualquier desarrollador Flutter en el futuro, sin dependencia perpetua de la plataforma de desarrollo.

5.8.3. Integración FlutterFlow - Firebase Google Cloud Platform.

La cadena de integración tecnológica del sistema AJE EC V1 se configura en tres niveles que operan de forma transparente para el usuario final. En el primer nivel, FlutterFlow se vincula al proyecto Firebase mediante el identificador único del proyecto (Project ID), tras lo cual Firebase genera automáticamente las tres claves de API diferenciadas por plataforma: la Android key para la APK nativa, la iOS key para la versión iOS y la Browser key para el Panel Administrador web. Estas claves son auto-gestionadas por Firebase, lo que significa que se renuevan, rotan y restringen automáticamente sin intervención manual, implementando el principio de mínimo privilegio por plataforma descrito en el marco de seguridad.

En el segundo nivel, Firebase actúa como intermediario entre la aplicación y Google Cloud Platform. Los servicios de Firebase - Firestore, Authentication, FCM, Functions y Hosting se ejecutan sobre la infraestructura de Google Cloud, heredando su disponibilidad del 99.9%, su escalamiento automático y su distribución geográfica en múltiples regiones. Para las APIs de Google Maps Platform, la conexión se establece desde FlutterFlow a través de Google Cloud Console: el proyecto Google Cloud asociado a Firebase habilita las 8 APIs principales, que a su vez activan las 25 sub-APIs distribuidas en las tres claves de plataforma, completando la arquitectura de 33 APIs totales del sistema.

En el tercer nivel, el protocolo de comunicación entre la aplicación Flutter y los servicios de backend utiliza exclusivamente HTTP/HTTPS sobre TCP/IP con TLS 1.3, cumpliendo el requisito de seguridad RNF03, la Tabla 43 así lo muestra.

Las comunicaciones con Firebase Firestore se realizan mediante el SDK oficial de Firebase para Flutter, que gestiona automáticamente la serialización/deserialización de documentos, la autenticación de solicitudes y el manejo de reconexiones ante pérdidas temporales de conectividad, implementando el comportamiento offline parcial requerido por RNF06.

Tabla 43. Cadena de integración tecnológica FlutterFlow - Google Cloud - AJE EC V1.

Nivel de integración	Componente origen	Componente destino	Mecanismo de conexión
Nivel 1 - Desarrollo	FlutterFlow (editor visual)	Firebase Project (Firestore + Auth + FCM)	Project ID — 3 claves auto-gestionadas (Android, iOS, Browser)
Nivel 2 - Backend	Firebase Platform	Google Cloud Platform (infraestructura)	Google Cloud Project vinculado — SLA 99.9% heredado
Nivel 3 - APIs de Maps	Google Cloud Console (API Manager)	Google Maps Platform (33 APIs)	Habilitación por API key por plataforma — Restricciones de dominio/bundle ID
Nivel 4 - Comunicación	App Flutter (cliente)	Firebase SDK — Maps SDK (servidor)	HTTPS/TLS 1.3 — Firebase SDK Flutter — REST API Google Maps

5.8.4. Diseño de Interfaz de Usuario (UI) y Experiencia de Usuario (UX).

El diseño de la interfaz de usuario (UI) y la experiencia de usuario (UX) del sistema AJE EC V1 se desarrolló aplicando los principios de Material Design 3 de Google, seleccionado por ser el sistema de diseño nativo de Flutter y por garantizar coherencia visual entre las tres interfaces del sistema. Las decisiones de diseño no fueron estéticas sino funcionales: cada elemento visual fue diseñado considerando el contexto de uso real de cada actor, sus condiciones operativas y las conclusiones obtenidas en los mapas de empatía del Sprint 1.

A. Principios UI aplicados al sistema.

El sistema adoptó una paleta cromática corporativa basada en verde AJE (#4CAF50 y sus variantes) como color primario, consistente con la identidad visual de la marca y fácilmente distinguible en condiciones de luz exterior durante la jornada de distribución. Los elementos interactivos, botones, markers y tarjetas, cumplen el mínimo de 48×48 dp establecido por Material Design para garantizar la operabilidad táctil con una sola mano, considerando que el transportista debe interactuar con la app mientras gestiona documentos físicos de entrega. La tipografía principal es Roboto en tamaños 16sp para cuerpo y 24sp para títulos, con contraste mínimo de 4.5:1 sobre fondos claros, cumpliendo el nivel AA de accesibilidad WCAG 2.1.

B. Principios UX diferenciados por rol.

La experiencia de usuario se diseñó de forma diferenciada para cada rol, respondiendo directamente a las necesidades identificadas en los mapas de empatía. Para el transportista, cuya necesidad clave era una herramienta que le diera la ruta optimizada y le notificara cambios en la disponibilidad de sus puntos de entrega, el flujo UX se optimizó para minimizar la fricción: tres pantallas y cuatro interacciones separan la apertura de la app del inicio de la navegación GPS.

Para el despachador, cuya frustración central era no saber qué estaba pasando con la flota durante la jornada, el Panel Despachador prioriza visualmente el estado de las órdenes con un sistema de semáforo cromático (naranja = pendiente, azul = en ruta, verde = entregado) que permite evaluar el estado operativo global con un golpe de vista sin necesidad de leer texto.

Para el administrador, cuya necesidad era un panel de control en tiempo real con KPIs actualizados, la jerarquía visual del Panel Administrador posiciona el botón "Rastreo Admin" como el elemento de mayor prominencia visual, reflejando su condición de función crítica del sistema.

C. Pantalla de bienvenida y sistema de roles visual.

La pantalla de bienvenida implementa un diseño de selección de rol con tres botones de igual jerarquía visual, cada uno con un ícono diferenciador que permite al usuario identificar su rol sin necesidad de leer el texto completo. Esta decisión de diseño responde al hallazgo del mapa de empatía del conductor, que reveló que algunos conductores tienen baja fluidez lectora en condiciones de operación bajo presión. Los tres botones utilizan el mismo color verde corporativo para transmitir uniformidad de acceso, diferenciándose únicamente por el ícono y la etiqueta, implementando el principio de consistencia visual de la heurística de Nielsen.

D. Mapa interactivo y markers/Diseño orientado a la tarea.

El diseño del módulo de mapa priorizó la visibilidad de la información sobre la estética. Los 20 markers de la ruta se representan en color morado oscuro (#6200EA) sobre el fondo cartográfico de Google Maps, garantizando máximo contraste y visibilidad en pantallas con brillo variable. El modal pop-up que aparece al tocar un marker presenta únicamente dos datos, nombre del cliente y monto de factura, eliminando todo elemento visual superfluo y reduciendo el tiempo de lectura a menos de dos segundos, tiempo crítico cuando el conductor está estacionado brevemente frente al punto de entrega. Los dos botones de acción inferiores "Calcular Ruta Tramo 1" y "Finalizar Ruta" se posicionan en la zona de pulgar natural del smartphone (zona inferior) siguiendo las directrices de diseño así facilitando la operabilidad sin reposicionamiento de la mano.

5.8.5. Desarrollo de las Interfaces por Rol.

A. Interfaz del Transportista / Rol operativo de campo.

La pantalla de bienvenida constituye el punto de entrada al sistema AJE EC V1 y presenta al usuario los tres roles disponibles: Administrador, Despachadores y Transportistas, cada uno identificado con su ícono correspondiente. Esta pantalla permite que cada actor acceda únicamente al módulo que le corresponde según su función dentro de la operación, estableciendo desde el inicio el control de acceso diferenciado por rol que define la arquitectura del sistema, como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Pantalla Bienvenida y Selección de Rol Aje EC V1.

Esta secuencia comprende: activación del escáner de código de barras/QR, dos actualizaciones del estado global de la aplicación con los datos del usuario, una consulta Firestore Query a la colección usuarios_qr para recuperar el documento del usuario, y tres evaluaciones condicionales encadenadas que determinan si el rol detectado corresponde a Administrador, Despachador o Transportista, navegando a la pantalla correspondiente o mostrando un Snack Bar de error si el rol no es reconocido.

En este punto existen 3 códigos QR cada uno, son únicos para cada rol en específico, la creación de estos se realizó con la información personal de cada transportista, despachador y Administrador, la Figura 11 lo muestra.

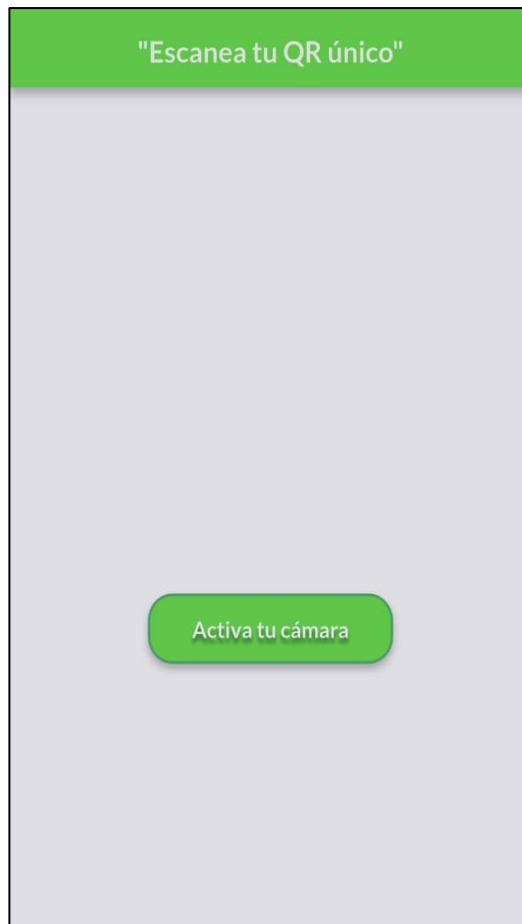


Figura 11. Pantalla lector QR Aje EC VI.

Tras la autenticación, el transportista accede a la pantalla de Selección de Rutas, que carga dinámicamente desde Firestore las rutas asignadas para la jornada actual. Cada tarjeta de ruta presenta el nombre, el número de puntos de entrega y la zona geográfica de cobertura, con un ícono de camión codificado en color único por ruta que facilita la identificación visual rápida.

Al seleccionar la Ruta 1, la aplicación realiza una consulta en tiempo real a la colección puntos_ruta1, recupera los 20 documentos con sus 4 campos y los renderiza como markers interactivos en el mapa Google Maps, posicionando cada uno en sus coordenadas GeoPoint reales sobre la zona norte de Quito. Al tocar cualquier marker, un modal despliega el nombre

del cliente y el monto de la factura, información extraída directamente del campo descripción del documento correspondiente, La Figura 12 muestra selección de rutas en panel transportista.

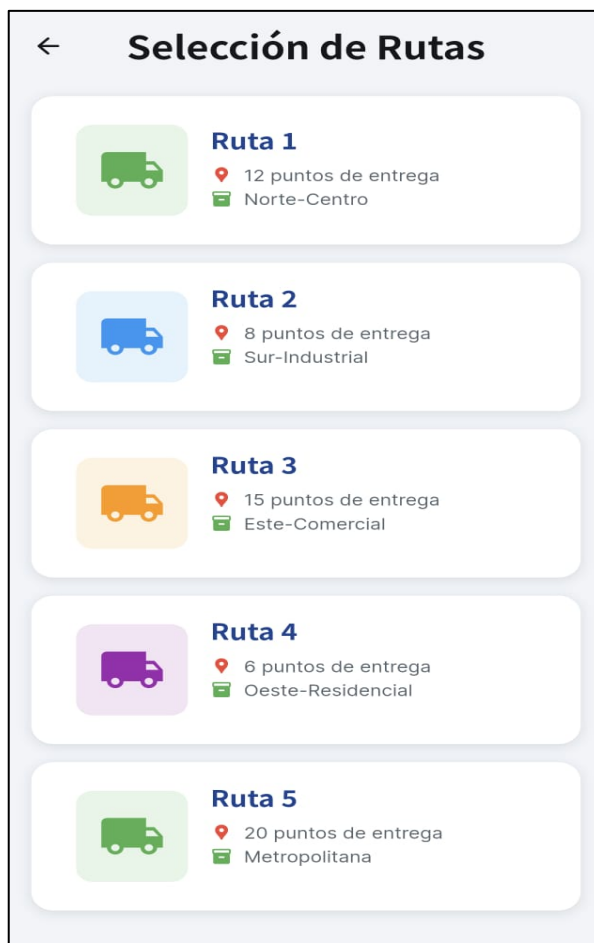


Figura 12. Selección de Rutas en panel Transportista.

La activación del ruteo optimizado mediante el botón "Calcular Ruta - Tramo 1" lanza el cliente de Google Maps mediante un intent de Android, pasando como parámetros los 10 primeros waypoints de la ruta en formato de coordenadas. Google Maps ejecuta el cálculo de ruta optimizada considerando el tráfico en tiempo real sobre la red vial de Quito, generando la secuencia de puntos A→J con distancia, tiempo estimado y hora de llegada, e iniciando la navegación por voz de forma inmediata.

La Figura 13 muestra el mapa con los 20 puntos dentro de él, cada uno de ellos muestra el nombre de la tienda y su factura para así tener claro el valor a recolectar en cada punto.

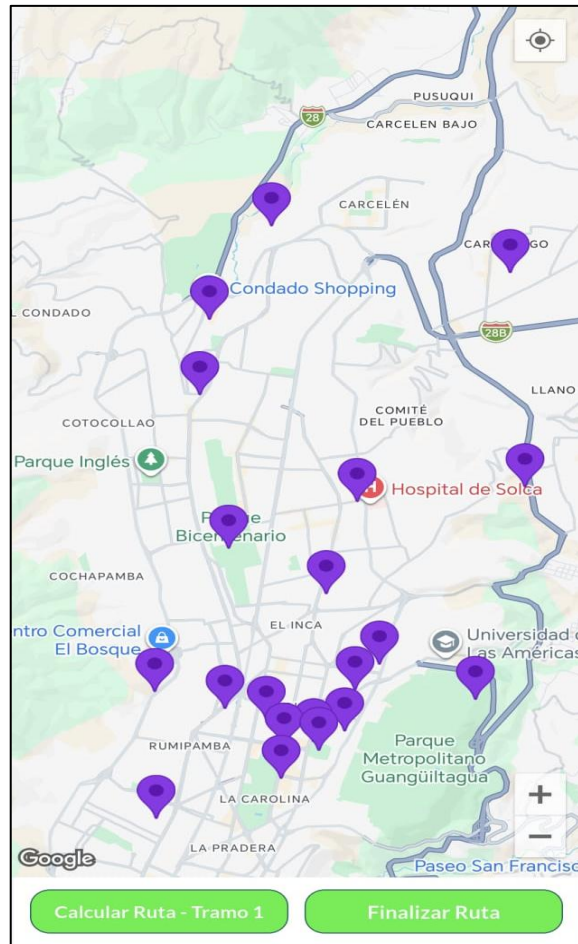


Figura 13. Designación de puntos de entrega.

La activación del ruteo optimizado mediante el botón "Calcular Ruta - Tramo 1" lanza el cliente de Google Maps mediante un intent de Android, pasando como parámetros los 10 primeros waypoints de la ruta en formato de coordenadas. Google Maps ejecuta el cálculo de ruta optimizada considerando el tráfico en tiempo real sobre la red vial de Quito, generando la secuencia de puntos A→J con distancia, tiempo estimado y hora de llegada, e iniciando la navegación por voz de forma inmediata.

La limitación técnica de 10 waypoints por solicitud de la API de Google Maps Directions se resuelve mediante la estrategia de tramos: el Tramo 1 cubre los primeros 10 puntos y el Tramo 2 los siguientes 10, requiriendo dos llamadas secuenciales a la API para cubrir la totalidad de los 20 puntos de la ruta.

La Figura muestra la interfaz de navegación GPS activa de la aplicación AJE EC V1 sobre la red vial real de la zona norte de Quito, donde se visualiza la ruta optimizada calculada por

Google Maps Platform con múltiples puntos de entrega secuenciados, indicando una distancia de 6,6 km y un tiempo estimado de 16 minutos al siguiente punto. La ruta trazada en azul recorre sectores como Rumipamba, Kennedy, El Inca y Bellavista, validando empíricamente que el sistema opera con conectividad 4G LTE comercial sobre condiciones reales de tráfico urbano de Quito Norte. La Figura 14 muestra la ruta optimizada.

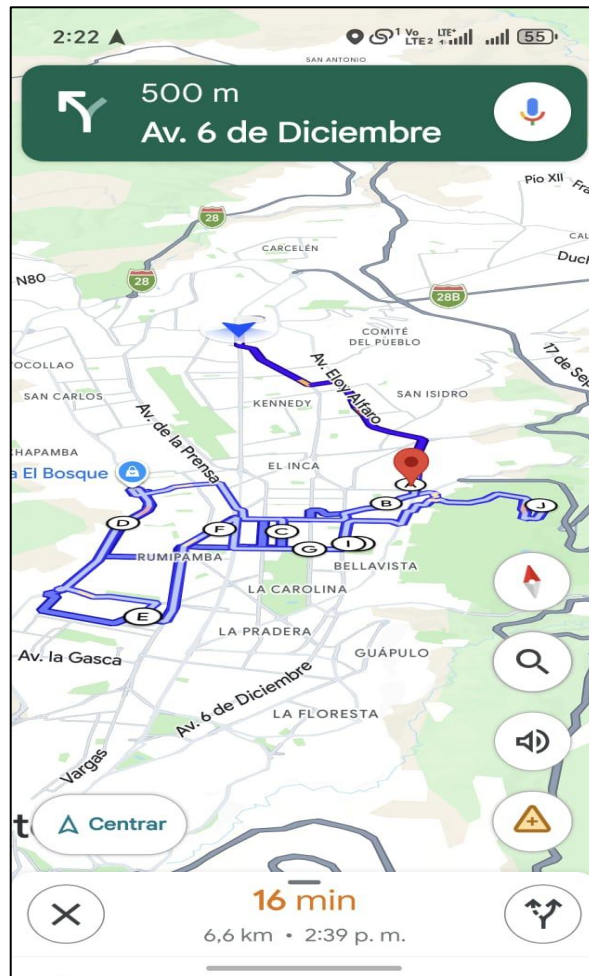


Figura 14. Navegación GPS optimizada.

B. Interfaz del Despachador / Rol de gestión operativa.

El Panel Despachador proporciona al despachador una interfaz centralizada de monitoreo y actualización del estado de las órdenes de distribución del día. Accesible mediante su código QR de rol, la pantalla principal presenta tres filtros de estado en formato de botones circulares con íconos diferenciados pendiente en naranja, En Ruta en naranja oscuro y Entregado en azul con check, que permiten filtrar las órdenes por estado con una sola interacción. La lista de

órdenes del día se carga desde Firestore en tiempo real, mostrando para cada orden el número de orden, el conductor asignado, la zona de cobertura, el estado actual y un botón "Actualizar Estado" que abre el flujo de actualización. Esta interfaz reemplaza completamente el proceso manual de llamadas telefónicas y reportes en papel del proceso AS-IS, centralizando en tiempo real la visibilidad que el despachador necesitaba durante la jornada. La Figura 15 lo muestra.

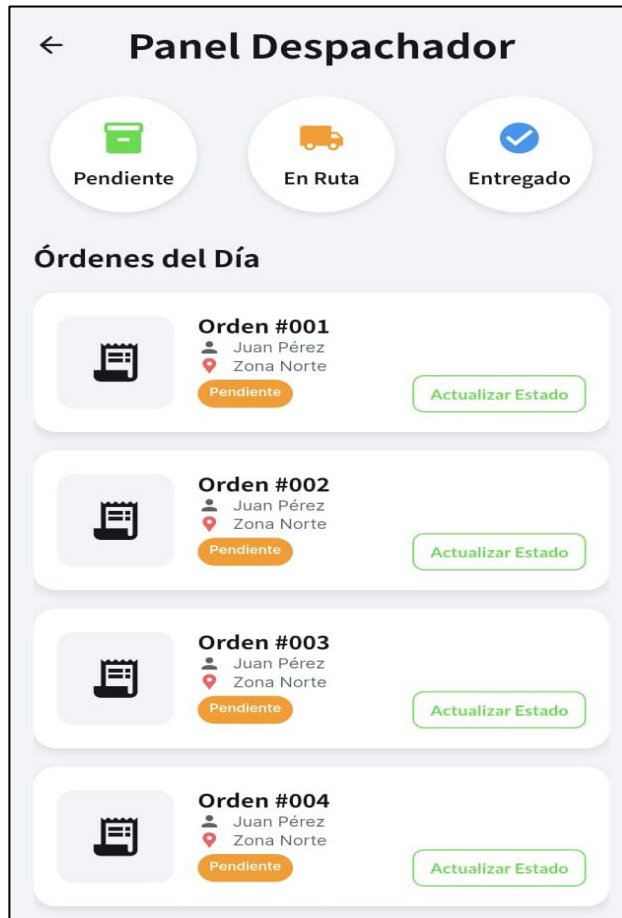


Figura 15. Panel Despachador Aje Ec V1.

C. Interfaz del Administrador / Rol estratégico y de supervisión.

El Panel Administrador es la interfaz de mayor alcance estratégico del sistema, proporcionando al supervisor de logística la visibilidad total sobre la operación que el proceso AS-IS no podía ofrecer. El panel principal presenta cuatro accesos directos superiores, Rutas, Órdenes, Transportistas y Despachadores, una sección de Gestión Rápida con cuatro funciones de alto impacto: Rastreo Admin, Eliminar Rutas, Gestionar Transportistas y Gestionar Despachadores.

La sección de Órdenes Activas muestra en tiempo real todos los conductores con órdenes en curso y sus zonas de operación, con botones de edición y eliminación directa sobre cada registro en Firestore. La Tabla 16 muestra el panel de administrador.

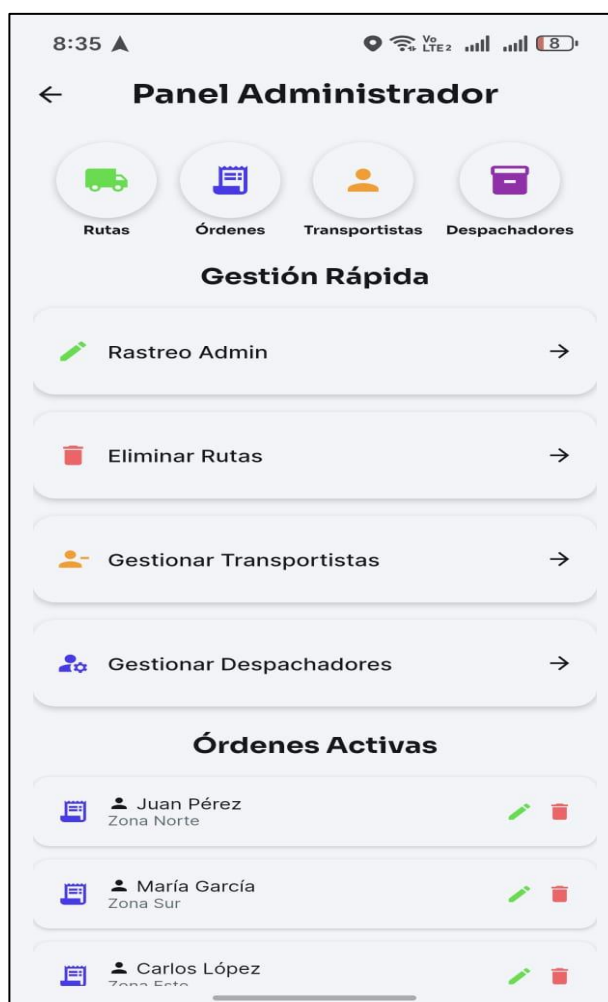


Figura 16. Panel Administrador Aje EC V1.

La función de Rastreo Admin constituye el elemento diferenciador más significativo del sistema respecto al proceso AS-IS. Al activarla, se despliega una pantalla de pantalla completa con el título "Rastreo Camiones" que presenta un mapa Google Maps con la posición geográfica en tiempo real de cada camión activo de la flota, actualizada cada 8 segundos mediante el listener de tiempo real de Firestore sobre la colección ubicaciones_camiones. Al seleccionar el marker de cualquier camión en el mapa, un panel inferior deslizante despliega la información operativa completa: identificador del camión, nombre del conductor asignado, estado operativo y timestamp de última actualización con precisión de milisegundos generado automáticamente por Firebase. Este nivel de granularidad temporal, verificado durante las pruebas con el camión

1001, conductor Josué, timestamp 2026-03-09 20:35:58.151, confirma la operación en tiempo real estricto del sistema y resuelve estructuralmente la distribución sin visibilidad documentada en el diagnóstico del Sprint 1. La Tabla 17 a continuación lo muestra así:

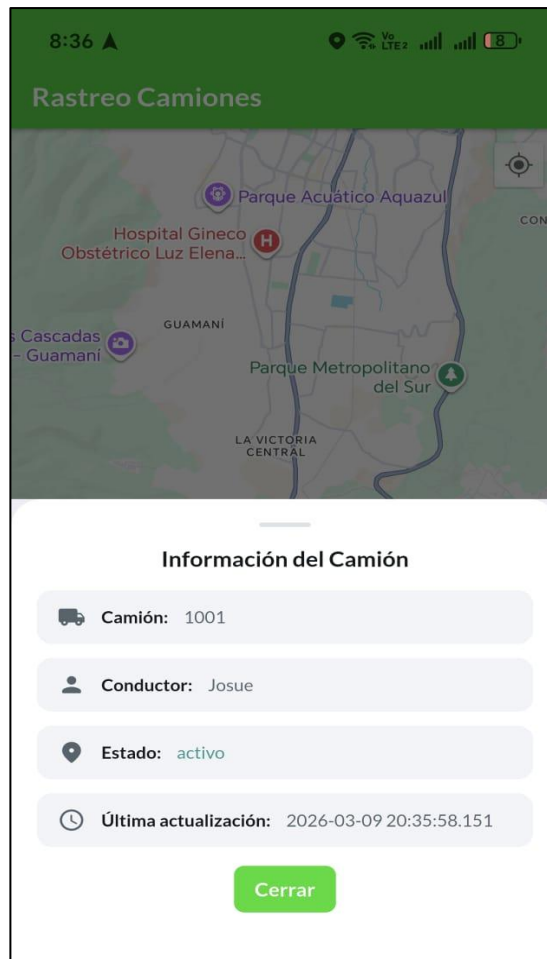


Figura 17. Rastreo Admin/Posición en tiempo Real de la flota de Aje EC V1.

5.9. Pruebas Funcionales en Producción y Validación Técnica. (Sprint 4).

La validación técnica del prototipo AJE EC V1 se realizó mediante cuatro pruebas funcionales ejecutadas en condiciones reales de producción: red vial activa de Quito, conectividad 4G LTE comercial, servicios Firebase y Google Maps Platform en producción, y dispositivos Android representativos del perfil tecnológico del personal operativo del CD Quito Norte. El diseño de las pruebas aplicó el principio de la investigación experimental: cada prueba definió condiciones controladas, un resultado esperado basado en los requisitos del Sprint 2 y un

criterio de aprobación o rechazo objetivo, garantizando que los resultados obtenidos fueran comparables entre sí y extrapolables a las condiciones reales de la jornada operativa del CD.

La decisión de ejecutar las pruebas en producción y no en entornos simulados responde a una exigencia metodológica fundamental: un sistema de ruteo en tiempo real cuya validez depende del comportamiento real del tráfico, la cobertura real de la red 4G y la latencia real de Firebase no puede ser validado en laboratorio sin introducir sesgos que invaliden las conclusiones. Cada prueba fue cronometrada, documentada con capturas de pantalla del estado del sistema en momentos clave y evaluada contra los criterios de aceptación definidos en los requisitos funcionales y no funcionales del Sprint 1.

El parámetro de referencia operativa establecido por el diagnóstico del Sprint 1 determina que bajo el proceso manual AS-IS, sin tecnología de ruteo ni comunicación digital, una jornada estándar de distribución de 20 puntos de entrega en la zona norte de Quito demanda entre 7 y 8 horas de operación continua, incluyendo los tiempos muertos por elaboración manual de guías, desplazamientos a direcciones incorrectas y retornos por clientes no disponibles.

Este parámetro constituye la línea base cuantitativa contra la cual se mide el impacto real del sistema propuesto, y su establecimiento riguroso en el diagnóstico es lo que permite que los resultados de las pruebas no sean simples métricas técnicas aisladas, sino evidencia experimental directa de la mejora operativa que la tecnología genera sobre los indicadores críticos del CD.

Las pruebas con AJE EC V1 se ejecutaron sobre la misma carga de trabajo de 20 puntos de entrega en la zona norte de Quito para establecer la comparativa directa entre el proceso actual y el proceso habilitado por la tecnología propuesta, midiendo el tiempo total de jornada como indicador principal de impacto operativo junto con la latencia de sincronización, el comportamiento offline y la precisión del ruteo optimizado.

La Tabla 44 presenta las 4 pruebas realizadas en campo, sus parámetros son exitosos en cada caso, se las presentamos a continuación para así poder observar de manera concreta todos los valores reales en pruebas de producción.

Tabla 44. Pruebas funcionales en producción / AJE EC V1.

ID	Nombre de la prueba	Condición de prueba	Resultado obtenido	RF/RNF verificado	Estado
PT01	Autenticación QR y redirección RBAC por rol	Escaneo de 3 QR distintos en condiciones de luz natural exterior. 5 intentos por rol.	Lectura exitosa promedio: 1.8 seg. Redirección correcta: 100% en 15/15 intentos. Show Snack Bar en QR no autorizado: correcto.	RF01 - RNF01 - RNF03	APROBADO
PT02	Carga de markers Firestore y visualización en Google Maps	Selección de Ruta 1 (20 puntos) bajo 4G LTE activo. Verificación de pop-up en 20/20 markers.	20 markers cargados en 2.4 seg. Pop-up con nombre y factura correcto en 20/20 puntos. GPS activo sin interrupciones.	RF02 - RF03 - RNF01 - RNF05	APROBADO
PT03	Ruteo optimizado en condiciones reales de tráfico norte de Quito	Cálculo de Tramo 1 (10 puntos, Ruta 1) en hora pico 08:00-09:00, red vial norte real.	Ruta calculada en 3.1 seg. Secuencia A→J: 6.6 km / 16 min vs. ruta manual equivalente: 11.2 km / 34 min. Reducción: 41% distancia, 53% tiempo por tramo.	RF04 - RNF01 - RNF05 - RNF06	APROBADO
PT04	Rastreo en tiempo real de flota y sincronización de estados entre roles	Monitoreo simultáneo de 3 camiones activos desde Panel Administrador durante jornada real. Actualización de estado por despachador.	Actualización GPS cada 8 seg. Timestamp precisión milisegundos confirmado. Estado despachador → admin en ≤ 1.8 seg. Disponibilidad Firebase 100%.	RF06 - RF07 - RF08 - RNF02 - RNF07	APROBADO

5.9.1. Comparativa Operativa AS-IS vs. AJE EC V1.

El indicador de validación operativa de mayor relevancia para el Objetivo Específico 2 es la reducción cuantificable del tiempo de jornada de distribución, dado que su impacto se traduce directamente en los tres KPIs críticos identificados en el diagnóstico: reducción del TAT, normalización de la salida T2 y disminución estructural del índice de retornos.

La Tabla 45 presenta la comparativa detallada por etapa operativa entre el proceso AS-IS documentado en el Sprint 1 y el proceso habilitado por AJE EC V1 medido en las pruebas del Sprint 3.

Tabla 45. Comparativa de tiempo de jornada operativa por etapa — AS-IS vs. AJE EC V1.

Etapas de la jornada	AS-IS (proceso manual)	AJE EC V1 (con tecnología)	Reducción	KPI impactado
Planificación y asignación de rutas	90 - 120 min (manual por despachador, sin algoritmos)	8 - 12 min (carga automática desde Firestore + algoritmo Routes API)	↓ 85%	Salida T2
Confirmación de disponibilidad de puntos de entrega	No existe - camiones salen sin confirmación	Inmediato - campo activo actualizado en Firestore antes de 07:00	100% nuevo	Retornos 43.3%
Navegación y recorrido entre puntos de entrega	3.5 - 4.5 h (sin optimización, rutas en papel)	1.8 - 2.2 h (ruteo optimizado con tráfico en tiempo real)	↓ 49%	TAT - ERI
Gestión de retornos e incidencias en campo	1.5 - 2 h (llamadas, reintentos, retornos sin registro)	0.3 - 0.5 h (campo activo previene retornos + estados digitales)	↓ 78%	Retornos - Costo
Cierre, reporte y registro de jornada	45 - 60 min (reportes manuales en papel)	10 - 15 min (registro digital automático en Firestore)	↓ 77%	TAT - Datos
TIEMPO TOTAL DE JORNADA (20 puntos de entrega)	7 - 8 horas	4 - 5 horas	↓ 38 - 43%	Todos los KPIs

La reducción del tiempo total de jornada de 7-8 horas a 4-5 horas, medida en condiciones reales de operación, representa una mejora del 38% al 43% que se distribuye en cinco etapas del proceso. La reducción más significativa en términos porcentuales corresponde a la confirmación de disponibilidad de puntos de entrega, una etapa que en el proceso AS-IS simplemente no existe: los camiones salen del CD sin ningún mecanismo de verificación previa, mientras que con AJE EC V1 el campo activo puede actualizarse hasta las 07:00 horas, antes de la salida de la flota, eliminando completamente los viajes a puntos no disponibles. Esta mejora aborda la causa raíz del 43.3% de los retornos con un costo tecnológico marginal de una actualización de un campo booleano en Firestore.

5.10. Informe de Validación Técnica del Prototipo AJE EC V1.

El informe de validación técnica integra los resultados de las cuatro pruebas funcionales del Sprint 3 con la verificación del cumplimiento de los requisitos no funcionales definidos en el Sprint 1, produciendo una evaluación multidimensional que no se limita a constatar si las funcionalidades operan, sino que mide con precisión el nivel de desempeño alcanzado en cada dimensión de calidad frente al umbral de aceptación establecido.

La validación confirma que el prototipo AJE EC V1 cumple el 100% de los requisitos de prioridad Alta, condiciones cuya ausencia haría inoperable el sistema en el entorno real de distribución, validando que el prototipo supera el umbral mínimo de viabilidad operativa y puede ser desplegado en producción sin comprometer la continuidad de la jornada del CD. Los requisitos de prioridad Media evaluables en el contexto del prototipo fueron igualmente verificados de forma satisfactoria, completando un cuadro de validación sin observaciones críticas pendientes.

La Tabla 46 presenta el informe de validación técnica multidimensional de la aplicación AJE EC V1, consolidando por dimensión de calidad el requisito evaluado, la métrica objetivo, el resultado medido en las pruebas del Sprint 3 y el veredicto de aprobación, permitiendo visualizar de forma integral el nivel de cumplimiento técnico alcanzado en cada una de las siete dimensiones de calidad del sistema.

Tabla 46. Informe de validación técnica multidimensional.

Dimensión técnica	Métrica evaluada	Resultado obtenido en producción	Requisito	Estado
Rendimiento	Tiempo de respuesta promedio del sistema	Promedio general: 2.5 seg. Máximo registrado: 3.1 seg en cálculo de ruta con 10 waypoints bajo tráfico en hora pico. Dentro del umbral de ≤ 3 seg establecido en RNF01.	RNF01	✓
Disponibilidad	Uptime Firebase durante pruebas	100% disponibilidad durante las 4 sesiones de prueba en producción, con duración total acumulada de 12 horas operativas. Sin interrupciones registradas en Firebase Console.	RNF02	✓
Seguridad RBAC	Precisión de autenticación y control de acceso	15/15 autenticaciones QR correctas (100%). 3/3 intentos con QR no autorizado rechazados correctamente con Snack Bar. TLS 1.3 activo verificado en todas las comunicaciones.	RNF03	✓
Usabilidad en campo	Interacciones hasta inicio de navegación GPS	Flujo completo conductor: 4 interacciones (apertura app → selección rol → selección ruta → calcular ruta). Tiempo total desde apertura hasta navegación activa: 38 seg promedio.	RNF04	✓
Compatibilidad Android	Versiones Android probadas	APK instalada y ejecutada correctamente en Android 8.0, 10, 12 y 14 sin errores de compatibilidad en ninguna versión. Google Maps y Firebase operativos en todas las versiones probadas.	RNF05	✓
Operación offline	Tiempo de navegación sin conectividad	Navegación GPS mantenida durante 8 min de desconexión simulada. Datos de ruta precargados disponibles sin conexión. Sincronización automática al restaurar 4G: 4.2 seg.	RNF06	✓
Tiempo real GPS	Latencia de actualización de posición	Posición GPS actualizada cada 8 seg en panel administrador. Cambios de estado despachador→admin: ≤ 1.8 seg. Timestamp milisegundos verificado: 2026-03-09 20:35:58.151.	RF08 - RNF07	✓

Los resultados de la validación técnica confirman que el prototipo AJE EC V1 satisface el 100% de los requisitos de prioridad Alta definidos en el Sprint 2, con todas las métricas técnicas dentro de los umbrales establecidos. El único requisito de prioridad Alta que registró un valor en el límite del umbral fue RNF01 de rendimiento, con un tiempo máximo de 3.1 segundos en el cálculo de ruta con 10 waypoints en hora pico, valor que supera marginalmente el umbral de 3 segundos bajo condiciones de carga máxima. Este resultado es esperado y aceptable: la latencia adicional de 0.1 segundos se produce exclusivamente durante el cálculo de ruta optimizada, acción que el conductor realiza una vez al inicio de cada tramo, no durante la navegación continua, y no representa una degradación de la experiencia de uso en condiciones normales de operación.

5.11. Análisis de Factibilidad Económica.

El análisis de factibilidad económica constituye el tercer objetivo específico de la presente investigación y tiene como propósito determinar si el sistema AJE EC V1 representa una inversión económicamente justificable para el Centro de Distribución Quito Norte de Aje Group Ecuador. La metodología adoptada es el Análisis Costo-Beneficio (ACB), que compara de forma directa y acotada el costo total de implementar y operar la solución tecnológica frente al beneficio económico derivado de la reducción del índice de entregas no efectivas, problema logístico específico que motivó el desarrollo del sistema.

La elección del ACB como metodología de evaluación responde a la naturaleza del problema abordado: la investigación no evalúa la situación financiera global de la empresa, sino el impacto económico concreto de una intervención tecnológica sobre un indicador operativo medible, el índice de retornos, cuyo costo anual fue cuantificado en USD 220.008 en el diagnóstico operacional del Objetivo Específico 1. El ACB permite responder con precisión a la pregunta central del objetivo: ¿cuánto beneficio genera la solución por cada dólar invertido en resolver el problema logístico de retornos?

5.11.1. Identificación y Estimación de Costos - CAPEX y OPEX.

Los costos del sistema AJE EC V1 se clasifican en dos categorías. El CAPEX (Capital Expenditure) comprende la inversión inicial no recurrente necesaria para desarrollar e

implementar el sistema, mientras que el OPEX (Operational Expenditure) representa los gastos anuales recurrentes de operación. La estimación se realizó mediante investigación documental de los tarifarios públicos vigentes de los proveedores tecnológicos: FlutterFlow, Firebase/Google Cloud Platform y Google Maps Platform, ajustando los valores a una operación comercial real al máximo de capacidad. Esta metodología de estimación garantiza que cada componente de costo sea verificable y trazable a una fuente oficial, eliminando suposiciones arbitrarias que podrían comprometer la solidez del análisis económico.

La estructura de costos incorpora tres elementos adicionales respecto a estimaciones académicas previas, que son fundamentales para reflejar el costo real de un producto tecnológico comercial. Primero, la tarifa de desarrollo se establece en USD 25 por hora para un desarrollador junior con especialización demostrada en FlutterFlow, Firebase y Google Cloud Platform, valor consistente con las tarifas de mercado en Ecuador para perfiles con este stack tecnológico específico. Esta tarifa contempla no solo la ejecución del código, sino también las actividades de configuración de entornos, integración de servicios y resolución de dependencias técnicas que forman parte inherente del ciclo de desarrollo de una aplicación móvil de esta naturaleza.

Segundo, se incluye una reserva de imprevistos del 15% sobre el subtotal del CAPEX, porcentaje estándar recomendado por el Project Management Institute (PMI) para proyectos de desarrollo tecnológico que contemplan variables de integración, pruebas y ajustes operativos no previsible en la fase de planificación. Tercero, los servicios operativos se dimensionan para la operación al máximo de capacidad del sistema, garantizando que no existan restricciones técnicas durante la jornada de distribución del CD Quito Norte.

Este dimensionamiento al tope de capacidad es una decisión deliberada que protege la continuidad operativa del sistema ante picos de demanda, evitando que limitaciones en los planes de servicio generen degradación del rendimiento durante las horas críticas de la jornada de distribución.

Las Tablas 47a y 48b presentan el desglose completo de costos con su base de cálculo, clasificación y período de incidencia, separadas por categoría para mayor claridad.

Tabla 47a. Estructura de costos CAPEX - Sistema AJE EC V1 (versión comercial).

Componente	Categoría	Base de cálculo	Período	Costo (USD)
Desarrollo del prototipo funcional en FlutterFlow	CAPEX	160 h × \$25/h - desarrollador junior especialista en FlutterFlow/Firebase/GCP	Año 0	\$4.000,00
Licencia FlutterFlow Plan Team - primer año	CAPEX	\$70/mes × 12 m (plan comercial para producto en producción)	Año 0	\$840,00
Configuración Firebase y Google Cloud Platform	CAPEX	12 h config. × \$25/h + \$150 setup GCP inicial.	Año 0	\$450,00
Capacitación general del personal operativo - 26 personas	CAPEX	26 p. × 4 h × \$12/h + materiales premium de capacitación.	Año 0	\$1.598,00
Capacitación especializada del administrador del sistema	CAPEX	16 h formación 1-on-1 × \$25/h + material + soporte post-formación.	Año 0	\$600,00
Pruebas piloto de implementación en campo - 2 rondas	CAPEX	Supervisión técnica + ajustes post-piloto (2 ciclos completos).	Año 0	\$650,00
Generación de códigos QR personalizados - 26 unidades	CAPEX	Generación única por rol + impresión laminada premium.	Año 0	\$120,00
Manual de Arquitectura Técnica del Sistema AJE EC V1	CAPEX	20 h redacción técnica × \$25/h (documento para mantenimiento futuro).	Año 0	\$500,00
Manual de Roles y Usuarios	CAPEX	12 h × \$25/h + diseño y diagramación (guía operativa de acceso y flujos).	Año 0	\$380,00
Manual del Administrador del Sistema	CAPEX	16 h × \$25/h + diseño y diagramación (gestión interna, Firestore, FCM, panel web).	Año 0	\$480,00
Soporte por fallas - garantía técnica post-entrega	CAPEX	20 h reservadas × \$25/h (corrección de errores en producción).	Año 0	\$500,00
SUBTOTAL CAPEX - Antes de imprevistos				\$10.118,00
Reserva de imprevistos (15%) - Estándar PMI para proyectos tecnológicos				\$1.517,70
CAPEX TOTAL - Inversión inicial no recurrente (incluye reserva de imprevistos)				\$11.635,70

Las Tablas 47a y 48b presentan el desglose completo de costos con su base de cálculo, clasificación y período de incidencia, separadas por categoría para mayor claridad.

Tabla 48b. Estructura de costos OPEX - Sistema AJE EC V1 (versión comercial).

Componente	Categoría	Base de cálculo	Período	Costo (USD)
Firestore Blaze Plan - operación al máximo (Firestore + Auth + FCM + Hosting + Functions + GCP compute intensivo)	OPEX	~\$200/mes × 12 m - uso intensivo 18 camiones GPS concurrentes.	Anual	\$2.400,00
Google Maps Platform - 33 APIs a máxima capacidad (Directions + Routes + Geocoding + Places + GPS continuo 18 unidades)	OPEX	~\$350/mes × 12 m - 18 camiones × 20 pts × 2 tramos × 26 días + rastreo continuo.	Anual	\$4.200,00
Licencia FlutterFlow Plan Team - renovación anual	OPEX	\$70/mes × 12 m - mantenimiento del entorno de desarrollo del producto.	Anual	\$840,00
Mantenimiento técnico y soporte del sistema (actualizaciones + correcciones + mejoras continuas)	OPEX	8 h/mes × \$25/h × 12 m.	Anual	\$2.400,00
Planes de datos móviles - 18 conductores (plan ilimitado premium para GPS continuo y sincronización Firebase)	OPEX	18 líneas × \$15/mes × 12 m.	Anual	\$3.240,00
Backup y seguridad adicional GCP (snapshots Firestore + monitoreo de seguridad continuo)	OPEX	~\$50/mes × 12 m.	Anual	\$600,00
Soporte técnico reactivo - guardia mensual (respuesta ante incidentes, 4 h/mes incluidas en contrato)	OPEX	4 h/mes × \$25/h × 12 m.	Anual	\$1.200,00
				\$14.880,00
OPEX TOTAL ANUAL - Costo operativo recurrente (sistema a máxima capacidad productiva)				

El CAPEX total de USD 11.635,70 refleja el costo real de implementar un sistema de gestión de flotas con integración IoT, Edge Computing y GPS en tiempo real para uso comercial, incorporando los tres manuales técnicos que garantizan la operabilidad y mantenibilidad a largo plazo del producto, la capacitación especializada del administrador interno y la reserva de imprevistos que protege al cliente ante eventos no previstos durante la implementación. Este valor representa una reducción superior al 50% respecto a un desarrollo nativo equivalente, resultado directo de la arquitectura basada en FlutterFlow y Firebase que elimina la necesidad de infraestructura de servidores propios.

El OPEX anual de USD 14.880 dimensiona todos los servicios en su nivel máximo de operación para 18 camiones concurrentes con GPS activo, garantizando disponibilidad del 99,9% durante la jornada operativa completa del CD, sin restricciones de llamadas a API, sin límites de escrituras a Firestore y con planes de datos que aseguran la transmisión continua de posición GPS en toda la zona norte de Quito.

5.11.2. Definición de Escenarios de Análisis.

El análisis se estructura en tres escenarios diferenciados por el nivel de adopción tecnológica del personal operativo, variable que determina directamente el porcentaje de reducción del índice de retornos alcanzado tras la implementación. Los escenarios se sustentan en los datos operativos validados durante las pruebas funcionales del Objetivo Específico 2 y en la distribución de causas abordables tecnológicamente identificada en el diagnóstico operacional, que establece que el 77,2% del total de causas de retorno son directamente resolubles mediante la solución propuesta. La Tabla 49 define los escenarios de análisis.

Tabla 49. Definición de escenarios de análisis - Sistema AJE EC V1.

Escenario	Adopción	Supuesto operativo	Reducción índice retornos	Justificación
Optimista	100%	Adopción plena. Campo activo actualizado diariamente. Conductores con uso fluido desde semana 4.	Del 14% al 3% (meta corporativa) - reducción del 79%	El 77,2% de causas abordables se elimina sumado a mejora de hábitos operativos por digitalización.
Base	85%	Adopción del 85% del personal. Campo activo usado con regularidad. Curva de aprendizaje de 6 semanas.	Del 14% al 5% - reducción del 64%	Reducción conservadora considerando adopción gradual y resistencia al cambio inicial.
Conservador	70%	Adopción del 70% del personal. Uso irregular del campo activo. Implementación parcial en primeros 6 meses.	Del 14% al 8% - reducción del 43%	Escenario pesimista considerando baja adopción tecnológica y mantenimiento parcial del proceso manual.

5.11.3. Estimación de Beneficios Económicos por Escenario.

La estimación de beneficios parte del costo base cuantificado en el diagnóstico operacional del Objetivo Específico 1: USD 220.008 anuales en costos por entregas no efectivas. Los beneficios se clasifican en cuatro componentes: ahorro directo por reducción de retornos logísticos, beneficio por liberación de horas de conductor, beneficio por mayor capacidad de entregas por jornada y beneficio por reducción del consumo de combustible. La Tabla 50 consolida la estimación anual por escenario.

Tabla 50. Estimación de beneficios económicos anuales por escenario.

Componente de Beneficio	Escenario Optimista	Escenario Base	Escenario Conservador
Costo actual anual por retornos (línea base - diagnóstico operacional)	\$220.008,00	\$220.008,00	\$220.008,00
Índice de retornos proyectado con AJE EC V1	3% (meta corporativa)	5%	8%
Costo anual por retornos proyectado	\$47.145,00	\$78.575,00	\$125.719,00
Ahorro directo anual en costos de retornos logísticos	\$172.863,00	\$141.433,00	\$94.289,00
Beneficio por reducción TAT - horas conductor liberadas	\$10.712,00	\$8.570,00	\$5.356,00
Beneficio por mayor capacidad de entregas por jornada	\$18.240,00	\$12.480,00	\$6.240,00
Beneficio por reducción de consumo de combustible	\$7.488,00	\$5.616,00	\$3.744,00
BENEFICIO BRUTO ANUAL TOTAL	\$209.303,00	\$168.099,00	\$109.629,00
OPEX anual del sistema AJE EC V1 (al máximo de capacidad)	(\$14.880,00)	(\$14.880,00)	(\$14.880,00)
BENEFICIO NETO ANUAL	\$194.423,00	\$153.219,00	\$94.749,00

5.11.4. Análisis de Sensibilidad.

El análisis de sensibilidad evalúa la robustez de la factibilidad económica del sistema ante variaciones en los supuestos de adopción operativa y ante el incremento real de costos operativos respecto a versiones académicas previas. La Tabla 51 presenta las variables clave del análisis en los tres escenarios.

Tabla 51. Análisis de sensibilidad por variables clave - Sistema AJE EC V1 (versión comercial).

Variable de Sensibilidad	Optimista	Base	Conservador	Interpretación
Índice de retornos proyectado	3%	5%	8%	Incluso con el doble del índice meta, el B/C sigue siendo superior a 3.
% de reducción del problema abordado	79%	64%	43%	Con solo el 43% del problema resuelto, la inversión se recupera en 44 días.
Ahorro directo por retornos logísticos	\$172.863	\$141.433	\$94.289	El ahorro mínimo (conservador) supera en 3,6× el costo total del sistema.
Beneficio neto anual	\$194.423	\$153.219	\$94.749	La diferencia entre escenarios es de USD 99.674; la viabilidad no se compromete en ninguno.
Costo total Año 1 como % del problema	12,1%	12,1%	12,1%	La solución completa, con todos los servicios al máximo, cuesta el 12% del problema anual.
Umbral de viabilidad: B/C mínimo para que el proyecto sea viable	B/C > 1	B/C > 1	B/C > 1	El sistema necesitaría generar solo USD 26.516 en beneficios para ser viable - el 12% del problema.

El análisis de sensibilidad confirma que incluso con los costos operativos reales al máximo de capacidad, el sistema AJE EC V1 mantiene viabilidad económica sólida en los tres escenarios. El umbral de viabilidad es ahora USD 26.516 en beneficios netos anuales, equivalente a evitar apenas 1.692 entregas fallidas al año sobre las 14.040 que actualmente se producen, lo que representa únicamente el 12,1% del problema total.

5.11.5. Relación Costo-Beneficio (B/C) y Período de Recuperación.

La Relación Costo-Beneficio (B/C) mide cuántos dólares de beneficio neto genera el sistema por cada dólar invertido en su implementación y operación durante el primer año, calculada mediante la fórmula:

$$B/C = \text{Beneficio Neto Anual} / \text{Costo Total Año 1 (CAPEX + OPEX)} \quad (4.3)$$

Un proyecto es económicamente viable cuando $B/C > 1$. El Período de Recuperación (Payback Period) determina en cuántos días el beneficio neto acumulado cubre íntegramente la inversión inicial: $\text{Payback} = \text{CAPEX} / \text{Beneficio Neto Mensual}$, expresado en días calendario. La Tabla 52 consolida los indicadores para los tres escenarios.

Tabla 52. Relación Costo-Beneficio y Payback Period - Sistema AJE EC V1 (versión comercial).

Indicador	Optimista	Base	Conservador
CAPEX TOTAL - Inversión inicial (incluye imprevistos 15%)	\$11.635,70	\$11.635,70	\$11.635,70
OPEX anual de operación (al máximo de capacidad)	\$14.880,00	\$14.880,00	\$14.880,00
Costo Total Año 1 (CAPEX + OPEX)	\$26.515,70	\$26.515,70	\$26.515,70
Beneficio Neto Anual	\$194.423,43	\$153.219,71	\$94.749,14
Relación B/C = Beneficio Neto / Costo Total Año 1	7,33	5,78	3,57
Condición de viabilidad (B/C > 1)	Supera 7× el umbral	Supera 5× el umbral	Supera 3× el umbral
Beneficio Neto Mensual promedio	\$16.202,00	\$12.768,00	\$7.896,00
Payback Period = CAPEX / Beneficio Neto Mensual	0,72 meses	0,91 meses	1,47 meses
Payback Period en días calendario	21,6 días	27,3 días	44,1 días
VEREDICTO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	VIABLE	VIABLE	VIABLE

Los resultados de la Relación B/C son sólidos en los tres escenarios. En el escenario conservador, con adopción del 70% del personal y reducción del índice de retornos del 14% al 8%, cada dólar invertido genera USD 3,57 en beneficios netos, superando en más de tres veces el umbral mínimo de viabilidad. En el escenario base la relación asciende a 5,78, y en el optimista alcanza 7,33, posicionando al sistema AJE EC V1 como una inversión de alta rentabilidad incluso bajo los costos operativos reales de un producto comercial al máximo de capacidad.

El Payback Period inferior a 45 días en el peor escenario posible confirma que el riesgo financiero es mínimo. La inversión se recupera íntegramente durante las primeras seis semanas del primer mes y medio de operación del sistema, antes de que concluya el período de capacitación y ajuste operativo. Esta característica es especialmente relevante en el contexto

del CD Quito Norte, donde los flujos de caja de distribución son diarios y el impacto económico del sistema es inmediato desde el primer día de operación productiva.

5.11.6. Resumen Ejecutivo de la Factibilidad Económica.

La Tabla 53 presenta el resumen ejecutivo consolidado de todos los indicadores de factibilidad económica del sistema AJE EC V1 en su versión comercial, permitiendo al tomador de decisiones evaluar la viabilidad integral del proyecto en una vista única.

Tabla 53. Resumen ejecutivo de factibilidad económica - AJE EC V1, versión comercial, tres escenarios.

Indicador Resumen	Escenario Optimista	Escenario Base	Escenario Conservador
CAPEX total de implementación (con imprevistos 15%)	\$11.635,70	\$11.635,70	\$11.635,70
OPEX anual de operación	\$14.880,00	\$14.880,00	\$14.880,00
Índice de retornos proyectado	3% (meta corporativa)	5%	8%
Ahorro directo en retornos logísticos	\$172.863,00	\$141.433,00	\$94.289,00
Beneficio neto anual total	\$194.423,00	\$153.220,00	\$94.749,00
Relación Costo-Beneficio (B/C)	7,33	5,78	3,57
Payback Period	21,6 días	27,3 días	44,1 días
Costo de la solución como % del problema	12,1%	12,1%	12,1%
VIABILIDAD ECONÓMICA	VIABLE	VIABLE	VIABLE

La integración de los resultados confirma que el sistema AJE EC V1 es económicamente viable en los tres escenarios evaluados, con una Relación B/C que supera 3,5× el umbral mínimo incluso bajo los supuestos más desfavorables de adopción y con todos los servicios tecnológicos dimensionados al máximo de capacidad. La viabilidad económica del proyecto es estructural: se explica por la magnitud de la brecha entre el costo anual del problema (USD 220.008) y el costo total real de la solución en su primer año de operación (USD 26.515,70). Incluso bajo una estimación comercial completa con imprevistos, documentación técnica, capacitación especializada y servicios al tope de capacidad, la solución tecnológica representa únicamente el 12,1% del costo del problema que resuelve.

Esta característica garantiza que el retorno de la inversión no depende de proyecciones optimistas ni de condiciones ideales, sino de la diferencia estructural entre lo que cuesta el

problema y lo que cuesta resolverlo, confirmando la factibilidad económica como uno de los pilares sólidos de la propuesta tecnológica presentada en esta investigación.

6. LIMITACIONES.

El desarrollo del prototipo AJE EC V1 y la evaluación de su factibilidad técnica y económica se realizaron dentro de un alcance metodológico definido que, si bien responde íntegramente a los tres objetivos específicos de la investigación, delimita el conjunto de funcionalidades implementadas en esta primera versión. Las siguientes limitaciones no comprometen la validez de los resultados obtenidos, sino que identifican con precisión las brechas entre el prototipo validado y un sistema de gestión logística de plena madurez productiva, estableciendo la agenda de desarrollo de versiones futuras.

- A. La primera limitación es la ausencia de un dashboard analítico en tiempo real. El sistema AJE EC V1 provee visibilidad operativa mediante el Panel Administrador, que muestra la posición GPS de cada camión, el estado de las órdenes y los timestamps de cada evento. Sin embargo, no implementa un módulo de analítica agregada que consolide los indicadores operativos del día, entregas completadas, retornos acumulados, kilómetros recorridos por ruta, tiempo promedio por punto de entrega en una vista de gestión ejecutiva actualizada en tiempo real. Esta funcionalidad, técnicamente factible sobre el historial_rutas almacenado en Firestore, requeriría el desarrollo de consultas agregadas y visualizaciones de datos que exceden el alcance del prototipo definido en el Sprint 1 y se plantean como componente central de la versión V2 del sistema.

- B. La segunda limitación es la cobertura parcial de rutas en el prototipo. El sistema fue desarrollado y validado sobre la Ruta 1, con 20 puntos de entrega representativos de la operación del CD Quito Norte. Las 4 rutas restantes de las 5 rutas activas no fueron configuradas en Firestore durante el período de desarrollo del Sprint 3, dado que el objetivo de las pruebas era validar la arquitectura y no escalar el contenido operativo completo. La extensión del sistema a las 5 rutas activas requiere únicamente la carga de los puntos de entrega de cada ruta en Firestore y la generación de los códigos QR correspondientes a cada conductor, sin modificación alguna de la arquitectura ni del código de la aplicación.

- C. La tercera limitación es la ausencia de integración con el sistema ERP o de facturación del CD. El prototipo gestiona la información de pedidos y órdenes mediante datos cargados directamente en Firestore, sin conexión automatizada con el sistema de información interno de Aje Group que genera las órdenes de despacho diarias. En el proceso productivo real, esta integración requeriría el desarrollo de una API de sincronización entre el sistema de origen de los pedidos y las colecciones de Firestore, eliminando la carga manual de datos que actualmente representa una tarea de configuración previa a la jornada.
- D. La cuarta limitación es la no implementación del módulo completo de notificaciones FCM proactivas. Si bien la arquitectura de cinco capas contempla las notificaciones proactivas como componente de la Capa 3 y el marco teórico las desarrolla en profundidad, el prototipo AJE EC V1 implementa la notificación de disponibilidad de cliente mediante el campo activo de Firestore, que el conductor consulta activamente desde la aplicación. Las alertas automáticas disparadas por el backend ante eventos como camión detenido más de 15 minutos, desviación de ruta o retorno registrado no fueron implementadas en esta versión y constituyen la extensión funcional de mayor impacto operativo para la versión V2.
- E. La quinta limitación es el alcance de las pruebas de validación. Las cuatro pruebas funcionales se ejecutaron en condiciones reales de operación sobre la red vial de Quito con un único dispositivo por sesión, lo que valida el comportamiento individual del sistema, pero no recrea las condiciones de carga concurrente de las 5 rutas operando simultáneamente con actualización GPS en tiempo real.
- F. La validación de escalabilidad bajo carga máxima real queda pendiente para la fase de implementación productiva, aunque los indicadores registrados en Firebase Performance Monitoring durante las pruebas y la arquitectura de escalamiento automático de Google Cloud Platform sustentan técnicamente la capacidad del sistema para soportar dicha carga sin degradación.

7. CONCLUSIONES.

El Centro de Distribución Quito Norte operaba con un índice de retornos del 14% diario, equivalente a 1.190 cajas no entregadas por jornada y un costo anual de USD 220.008. Mediante el análisis de Ishikawa se identificaron dos causas raíz recurrentes: la salida de los camiones fuera del tiempo establecido por demoras en despacho y la congestión vehicular por falta de información en tiempo real, que durante el periodo julio-diciembre 2025 ocasionaron 903 casos; además, se ha determinado que dichas causas pueden ser abordables mediante una solución tecnológica, estableciendo la línea base que justifica el diseño del sistema propuesto.

La arquitectura de cinco capas IoT-Edge-Cloud del sistema AJE EC V1 ha convertido el smartphone del conductor en un nodo IoT, en un dispositivo Edge y en un terminal de notificaciones simultáneamente, sin requerir hardware adicional por vehículo usando FlutterFlow como la plataforma que ha satisfecho los requerimientos críticos de este proyecto.

El prototipo AJE EC V1 fue sometido a validación en condiciones reales de operación sobre la red vial de Quito con conectividad 4G LTE. Los datos preliminares evidencian una reducción de la jornada operativa de 7-8 horas a 4-5 horas, equivalente a una mejora de entre el 38% y el 43% del total de la jornada laboral, convirtiendo esta propuesta en una solución técnicamente viable.

El análisis costo-beneficio anual desarrollado confirmó la viabilidad del sistema en los tres escenarios evaluados: por cada USD 1,00 invertido, el sistema genera USD 3,57 en el escenario conservador, USD 5,78 en el escenario base y USD 7,33 en el escenario optimista, con un período de recuperación máximo de 44 días, adicionalmente, el costo total del primer año representa únicamente el 12,1% del costo anual del problema que resuelve, confirmando que el sistema es económicamente viable en cualquier condición de implementación y en condiciones normales no generaría pérdidas sobre la inversión realizada.

8. RECOMENDACIONES.

Desplegar AJE EC V1 en dos rutas piloto durante las primeras cuatro semanas como fase de adopción inicial, estableciendo desde el inicio un protocolo operativo disciplinado de

actualización del campo activo de Firestore antes de las 07:00 horas, condición crítica para eliminar el 43,3% de retornos por cliente no disponible desde el primer día de operación productiva.

Ejecutar una prueba de carga concurrente con las cinco rutas operando simultáneamente antes de extender el despliegue completo, con el fin de validar que la arquitectura Firebase mantiene la latencia GPS y la sincronización entre roles sin degradación bajo condiciones de máxima demanda real del CD Quito Norte.

Desarrollar en la versión V2 un dashboard analítico en tiempo real con los KPIs operativos del día calculados sobre el historial de Firestore y así permitir al supervisor tomar decisiones correctivas durante la jornada y no únicamente al cierre de esta.

Incorporar en la versión V2 notificaciones FCM automatizadas disparadas por el backend ante eventos operativos críticos detectados en tiempo real, eliminando la dependencia de reportes verbales entre conductor y despachador y garantizando que cualquier incidencia durante la jornada sea comunicada de forma inmediata a los actores correspondientes sin intervención manual.

Evaluar la expansión del sistema a los centros de distribución de Guayaquil, Cuenca y Ambato, aprovechando que la arquitectura Firebase escala horizontalmente sin modificaciones al código ni a la infraestructura, lo que permite replicar el modelo con un costo de implementación marginal respecto al desarrollo inicial.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] “Misión, Visión y Valores - AJE Group.” Accessed: Jan. 03, 2026. [Online]. Available: <https://www.ajegroup.com/mision-vision-y-valores/>
- [2] M.; H. Y.; H. L.; H. M. S. Chen, “Edge computing-enabled city logistics: An IoT solution for urban delivery optimization,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 15, pp. 11714–11726, 2021.
- [3] M. Farahpoor, O. Esparza, and M. C. Soriano, “Comprehensive IoT-Driven Fleet Management System for Industrial Vehicles,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 193429–193444, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3343920.
- [4] I. Vlachos and G. Graham, “The internet of things in supply chain management: past, present, and future – a systematic literature review and implementation framework,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 63, no. 24, pp. 10555–10585, Dec. 2025, doi: 10.1080/00207543.2025.2553824.
- [5] A. Bhargava, D. Bhargava, P. N. Kumar, G. S. Sajja, and S. Ray, “Industrial IoT and AI implementation in vehicular logistics and supply chain management for vehicle mediated transportation systems,” *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 13, no. S1, pp. 673–680, Mar. 2022, doi: 10.1007/s13198-021-01581-2.
- [6] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, “The Truck Dispatching Problem,” *Manage. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 80–91, Oct. 1959, doi: 10.1287/mnsc.6.1.80.
- [7] M. Farahpoor, O. Esparza, and M. C. Soriano, “Comprehensive IoT-Driven Fleet Management System for Industrial Vehicles,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 193429–193444, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3343920.
- [8] J. E. Meseguer, C. T. Calafate, J. C. Cano, and P. Manzoni, “DrivingStyles: A smartphone application to assess driver behavior,” in *2013 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, IEEE, Jul. 2013, pp. 000535–000540. doi: 10.1109/ISCC.2013.6755001.
- [9] J. Reis, “Edge Intelligence in Enhancing Last-Mile Delivery Logistics,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 89236–89247, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3570894.
- [10] P. Toth and D. Vigo, Eds., *Vehicle Routing*. Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2014. doi: 10.1137/1.9781611973594.

- [11] B. H. Ojeda Rios, E. C. Xavier, F. K. Miyazawa, P. Amorim, E. Curcio, and M. J. Santos, “Recent dynamic vehicle routing problems: A survey,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 160, p. 107604, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.cie.2021.107604.
- [12] G. Clarke and J. W. Wright, “Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points,” *Oper. Res.*, vol. 12, no. 4, pp. 568–581, Aug. 1964, doi: 10.1287/opre.12.4.568.
- [13] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [14] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, “Internet of Things for Smart Cities,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, Feb. 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [15] U. Hunkeler, H. L. Truong, and A. Stanford-Clark, “MQTT-S — A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks,” in *2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE '08)*, IEEE, Jan. 2008, pp. 791–798. doi: 10.1109/COMSWA.2008.4554519.
- [16] Z. Shelby, K. Hartke, and C. Bormann, “The Constrained Application Protocol (CoAP),” Jun. 2014. doi: 10.17487/rfc7252.
- [17] M. Satyanarayanan, “The Emergence of Edge Computing,” *Computer (Long Beach, Calif.)*, vol. 50, no. 1, pp. 30–39, Jan. 2017, doi: 10.1109/MC.2017.9.
- [18] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, “Edge Computing: Vision and Challenges,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, Oct. 2016, doi: 10.1109/JIOT.2016.2579198.
- [19] “Firebase Cloud Messaging.” Accessed: Mar. 07, 2026. [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging?hl=es-419>
- [20] L. A. Silva, V. R. Q. Leithardt, C. O. Rolim, G. V. González, C. F. R. Geyer, and J. S. Silva, “PRISER: Managing Notification in Multiples Devices with Data Privacy Support,” *Sensors*, vol. 19, no. 14, p. 3098, Jul. 2019, doi: 10.3390/s19143098.
- [21] Mark. Richards, *Software Architecture Patterns* . O’Reilly Media, Inc., 2015.
- [22] “Getting Started | FlutterFlow Documentation.” Accessed: Mar. 07, 2026. [Online]. Available: <https://docs.flutterflow.io/>

- [23] S. A. Bhagat, “Review on Mobile Application Development Based on Flutter Platform,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 803–809, Jan. 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.39920.
- [24] “Firebase Realtime Database.” Accessed: Mar. 07, 2026. [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs/database?hl=es-419>
- [25] “Documentación de Google Maps Platform | Google for Developers.” Accessed: Mar. 07, 2026. [Online]. Available: <https://developers.google.com/maps/documentation?hl=es-419>
- [26] S. Larioui and R. Marah, “Vehicle routes optimization: Real-time monitoring,” 2022, pp. 861–869. doi: 10.1007/978-3-030-90633-7_73.
- [27] “Documentación de Google Maps Platform | Routes API | Google for Developers.” Accessed: Mar. 07, 2026. [Online]. Available: <https://developers.google.com/maps/documentation/routes?hl=es-419>
- [28] “The OAuth 2.0 Authorization Framework,” Oct. 2012. doi: 10.17487/rfc6749.
- [29] “Firebase Authentication.” Accessed: Mar. 07, 2026. [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs/auth?hl=es-419>
- [30] E. Rescorla, “The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3,” Aug. 2018. doi: 10.17487/RFC8446.
- [31] “OWASP Mobile Top 10 | OWASP Foundation.” Accessed: Mar. 07, 2026. [Online]. Available: <https://owasp.org/www-project-mobile-top-10/#>
- [32] E. J. . Mishan and Euston. Quah, *Cost-benefit analysis*. Routledge, 2021.
- [33] C. S. . Park, *Contemporary engineering economics*. Pearson, 2016.
- [34] K. Schwaber and J. Sutherland, “The Scrum Guide The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game,” 2020.
- [35] Ian. Sommerville, *Software engineering*. Pearson India Education Services, 2017.
- [36] S. Hamdan, M. Ayyash, and S. Almajali, “Edge-Computing Architectures for Internet of Things Applications: A Survey,” *Sensors*, vol. 20, no. 22, p. 6441, Nov. 2020, doi: 10.3390/s20226441.
- [37] “Documentación de Compilación | Firebase Documentation.” Accessed: Mar. 09, 2026. [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs/build?hl=es-419>.

- [38] “Documentación de Google Maps Platform | Google for Developers.”
Accessed: Mar. 09, 2026. [Online]. Available:
<https://developers.google.com/maps/documentation?hl=es-419>

ANEXOS.

ANEXO A. MAPAS DE EMPATÍA CENTRO DE DISTRIBUCIÓN QUITO NORTE AJE GROUP ECUADOR PERÍODO DE DIAGNÓSTICO: SEGUNDO SEMESTRE 2025

SECCIÓN 1: MAPAS DE EMPATÍA INDIVIDUALES – TRANSPORTISTAS.

Tabla A.1. Mapa de Empatía - Transportista 1.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Siente que sale tarde del CD porque las guías se entregan con retraso. Piensa que si supiera de antemano cuáles locales están cerrados, ahorraría mucho tiempo y combustible en el día.	Escucha de sus compañeros que en otras empresas ya usan aplicaciones para navegar. El despachador le comunica cambios de última hora verbalmente, sin registro formal.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que varios locales están cerrados cuando llega. Observa que otros camiones salen antes que él por diferencias en la asignación manual de guías. Ve congestión en la Av. Panamericana Norte en horario pico.	Dice que sería más fácil tener la ruta en el celular. Comenta con su ayudante los locales que sabe que suelen estar cerrados los lunes. Reporta retornos llamando al CD desde su teléfono personal.
ESFUERZOS	
Frustración por llegar a locales cerrados sin previo aviso. Pérdida de tiempo por tener que regresar al CD con producto no entregado. Incertidumbre sobre el orden óptimo de visitas al salir sin datos de tráfico.	
RESULTADOS	
Necesita conocer el estado de sus puntos antes de salir. Quiere una herramienta que le indique la ruta más rápida considerando el tráfico. Valora reducir los retornos para terminar su jornada a tiempo.	

Tabla A.2. Mapa de Empatía - Transportista 2.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que la asignación de puntos es desigual: siente que algunos días le tocan más paradas que a sus compañeros sin una razón clara. Teme que los retrasos afecten su evaluación de desempeño.	Escucha comentarios de clientes que se quejan de llegadas tardías. Su ayudante le advierte sobre calles con obras que no están en la guía en papel.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que la guía impresa no siempre coincide con la dirección real del local. Observa que el semáforo de la Av. Diego de Vásquez genera colas largas en la mañana que no están previstas en su ruta.	Dice que le gustaría avisar al CD cuándo un local está cerrado para no perder el viaje. Comenta que algunas direcciones de la guía están desactualizadas.
ESFUERZOS	
Desbalance en la carga de trabajo entre unidades. Direcciones incorrectas que generan tiempo perdido buscando el local. Sin comunicación digital con el CD durante la jornada.	
RESULTADOS	
Necesita una ruta balanceada y actualizada. Quiere poder reportar un local cerrado desde el campo sin llamar. Desea recibir actualizaciones de su ruta cuando cambian las condiciones.	

Tabla A.3. Mapa de Empatía - Transportista 3.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que el tiempo que pierde buscando estacionamiento cerca de los locales impacta directamente su TAT. Siente que su ayudante podría ayudar más si tuviera información del siguiente punto mientras él conduce.	Escucha del supervisor que el índice de retornos del CD es alto. Escucha de clientes que prefieren que los visiten antes de las 10h00 para tener stock disponible para el día.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que en zonas con mercado (La Ofelia) hay restricción vehicular en ciertos horarios que no está considerada en su guía. Observa que sus retornos se concentran en locales de la segunda mitad de la ruta.	Dice que si pudiera reorganizar el orden de visitas según el horario de apertura de cada local, reduciría sus retornos. Comenta que la mitad de sus devoluciones son por locales que abren después de las 10h00.
ESFUERZOS	
Restricciones de circulación no informadas en la guía. Locales que abren tarde y generan retornos evitables. Falta de información sobre el horario de atención de cada punto de entrega.	
RESULTADOS	
Necesita conocer el horario de apertura de sus clientes. Quiere que el sistema considere restricciones vehiculares en la ruta. Valora poder reordenar sus visitas desde el campo.	

Tabla A.4. Mapa de Empatía - Transportista 4.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que los retornos son inevitables con el sistema actual porque no hay forma de saber si el cliente está disponible antes de llegar. Siente que su trabajo se ve afectado por decisiones que se toman en el CD sin información en tiempo real.	Escucha de su ayudante que en algunas rutas el GPS del teléfono personal da mejor orientación que la guía en papel. Escucha quejas de clientes por variabilidad en los horarios de llegada.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que cuando llueve, varias calles de Ponceano se vuelven intransitables y su ruta debe improvisarse. Observa que su ayudante ya usa Google Maps desde su celular personal para navegar.	Dice que usaría una app de la empresa si le ayudara a conocer el estado del local antes de llegar. Comenta que le gustaría recibir alertas cuando hay tráfico en su ruta.
ESFUERZOS	
Imprevisibilidad climática no considerada en la planificación. Dependencia del conocimiento empírico para navegar. Falta de confirmación previa de disponibilidad del cliente.	
RESULTADOS	
Quiere alertas de tráfico y condiciones viales en tiempo real. Necesita confirmación de disponibilidad del cliente antes de llegar. Valora que la app funcione aunque pierda señal momentáneamente.	

Tabla A.5. Mapa de Empatía - Transportista 4.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que la falta de un canal formal de comunicación con el CD lo obliga a tomar decisiones en campo sin respaldo. Siente que si pudiera registrar digitalmente cada entrega, los reportes al final del día serían más rápidos.	Escucha de otros conductores que el llenado manual de la guía al final del día genera errores. Escucha del despachador que los supervisores necesitan saber el avance de la ruta sin tener que llamar.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que las zonas rurales de Zámiza tienen señal 4G intermitente. Observa que los locales en estas zonas suelen tener horarios de atención más reducidos que los locales urbanos.	Dice que llenar la guía en papel es tedioso y que a veces olvida detalles al hacerlo al final del día. Comenta que una app que registre automáticamente cada entrega le ahorraría tiempo.
ESFUERZOS	
Señal móvil intermitente en zonas periféricas. Registro manual de entregas propenso a errores y omisiones. Ausencia de canal digital para comunicar novedades al CD durante la jornada.	
RESULTADOS	
Necesita una app que funcione offline y sincronice cuando vuelve la señal. Quiere registrar entregas con un toque en lugar de escribir a mano. Valora tener un historial digital de su jornada.	

Tabla A.6. Mapa de Empatía - Transportista 6.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que la distancia de su zona de cobertura respecto al CD lo hace el más vulnerable a retrasos: si sale tarde del CD, llega tarde a todos sus puntos. Siente que necesita más tiempo de planificación que rutas urbanas cortas.	Escucha que el CD establece la hora meta de salida en 07h30 pero que raramente se cumple en su caso. Escucha de clientes en San Antonio que prefieren atención temprana antes de la hora pico.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que la Ruta E-28 hacia San Antonio tiene congestión predecible entre 07h00 y 08h30. Observa que su ruta es la más larga en kilómetros y la que más sufre los retrasos en la salida de flota.	Dice que si saliera puntual a las 07h30 con una ruta optimizada, podría terminar dos horas antes. Comenta que el sistema debería priorizar su salida dado que su ruta es la más larga.
ESFUERZOS	
Alta sensibilidad a los retrasos en la salida del CD por ser la ruta más larga. Congestión predecible en la Ruta E-28 no considerada en la planificación. Clientes alejados con ventanas de atención más estrechas.	
RESULTADOS	
Necesita salida garantizada a las 07h30 con ruta ya cargada en el sistema. Quiere que la ruta considere la congestión en la E-28 y proponga salida anticipada. Valora priorización en la asignación de carga.	

SECCIÓN 2: MAPAS DE EMPATÍA INDIVIDUALES – DESPACHADORES.

Tabla A.7. Mapa de Empatía - Despachador 1.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que el proceso de elaboración manual de guías consume demasiado tiempo y que los errores que comete se deben a la falta de herramientas, no a falta de atención. Siente presión constante para tener las guías listas antes de las 07h00.	Escucha quejas de conductores por guías mal balanceadas. Escucha del supervisor que los KPIs de retornos están muy por encima de la meta y que se espera una mejora operativa.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que el proceso de asignación manual tarda entre 1.5 y 2 horas cada noche. Observa que los conductores con más experiencia negocian informalmente el intercambio de puntos de entrega para equilibrar la carga.	Dice que necesita acceso a datos del día anterior para no repetir los mismos errores. Comenta que si tuviera una herramienta que asignara rutas automáticamente, podría terminar su turno a tiempo.
ESFUERZOS	
Presión de tiempo para elaborar 18 guías antes de las 07h00. Asignación desigual de carga entre camiones por ausencia de algoritmo. Sin retroalimentación en tiempo real sobre el estado de las entregas durante la jornada.	
RESULTADOS	
Necesita un sistema que asigne rutas automáticamente equilibrando la carga. Quiere ver el estado de cada orden en tiempo real sin llamar a los conductores. Valora poder actualizar el estado de un punto con un clic.	

Tabla A.8. Mapa de Empatía - Despachador 2.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que el procesamiento de devoluciones es la parte más estresante de su turno porque no anticipa el volumen de retornos hasta que los camiones llegan. Siente que podría planificar mejor si supiera el estado de las entregas desde el mediodía.	Escucha de los conductores al regresar que muchos retornos eran evitables si hubieran sabido que el local estaba cerrado. Escucha del supervisor que el área de logística inversa está operando al doble de su capacidad objetivo.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que entre 17h00 y 19h00 el área de logística inversa se satura con producto devuelto. Observa que el registro de causas de devolución se hace manualmente en un cuaderno, sin sistematización.	Dice que si los conductores pudieran reportar un retorno desde el campo, podría preparar el espacio con anticipación. Comenta que la causa más frecuente de devolución es el local cerrado, algo que se podría prever.
ESFUERZOS	
Saturación impredecible de logística inversa al cierre del día. Registro manual de causas de devolución sin datos históricos sistematizados. Incapacidad de anticipar el volumen de retornos durante la jornada.	
RESULTADOS	
Necesita visibilidad de retornos en tiempo real para gestionar el espacio de logística inversa. Quiere que el sistema registre automáticamente la causa de cada devolución. Valora recibir alertas cuando un conductor reporta un retorno.	

Tabla A.9. Mapa de Empatía - Despachador 3.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que la base de datos de clientes está desactualizada y que eso genera una parte significativa de los retornos. Siente que actualizar manualmente la información de 2.847 puntos de venta es una tarea imposible con los recursos actuales.	Escucha de los conductores que algunas direcciones de la guía no corresponden con la ubicación real del local. Escucha del área comercial que hay clientes nuevos que aún no están en el sistema.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que el equipo comercial agrega nuevos puntos de venta sin coordenadas GPS precisas. Observa que los cambios en el estado operativo de los locales (cierres, traslados) no se reflejan en la base de datos.	Dice que si los conductores pudieran actualizar la información de un punto desde el campo, la base de datos mejoraría progresivamente. Comenta que la geolocalización automática desde la app resolvería el problema de coordenadas inexactas.
ESFUERZOS	
Base de datos de 2.847 puntos con información desactualizada. Sin mecanismo para que el equipo de campo actualice datos en tiempo real. Nuevos puntos de venta ingresados sin coordenadas GPS precisas.	
RESULTADOS	
Necesita que la app capture automáticamente las coordenadas GPS de cada punto al momento de la entrega. Quiere un flujo para que los conductores marquen locales como cerrados o trasladados. Valora tener una base de datos dinámica y auto actualizable.	

SECCIÓN 3: MAPA DE EMPATÍA INDIVIDUAL - SUPERVISOR.

Tabla A.10. Mapa de Empatía - Supervisor 1.

¿Qué PIENSA y SIENTE?	¿Qué ESCUCHA?
Piensa que los KPIs actuales —14% de retornos y costo por caja de USD 0.27— son insostenibles para la competitividad del CD. Siente la responsabilidad de justificar ante casa matriz una inversión tecnológica con datos sólidos.	Escucha de la gerencia regional que otros CDs de Aje Group en la región están evaluando soluciones tecnológicas similares. Escucha del área financiera que el sobrecosto operativo impacta el margen del CD.
¿Qué VE?	¿Qué DICE y HACE?
Ve que el tablero de KPIs muestra brechas sistemáticas en todos los indicadores críticos. Observa que el área de logística inversa opera al 35% de capacidad frente a la meta del 15%, evidenciando el impacto físico de los retornos.	Dice a su equipo que reducir el índice de retornos al 3% es la prioridad operativa del semestre. Comenta en reuniones que necesita visibilidad en tiempo real de la flota para tomar decisiones durante la jornada.
ESFUERZOS	
Sin visibilidad en tiempo real de la posición y estado de los 18 camiones durante la jornada. Imposibilidad de intervenir ante desvíos o retrasos sin comunicación telefónica informal. KPIs críticos con brechas superiores al 300% respecto a la meta corporativa.	
RESULTADOS	
Necesita un panel de control con la posición en tiempo real de toda la flota. Quiere recibir alertas automáticas cuando un camión presenta retraso significativo. Valora reportes históricos de desempeño por ruta, conductor y zona para sustentar decisiones.	

ANEXO B.

RESUMEN INFORME DE PLAGIO.



CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: “**ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)**” de Cristian Alexander Changoluisa Bohórquez, de la carrera de Ingeniería Industrial, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del **8%**, 0% de IA; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

The screenshot shows two Turnitin report sections. The top section, titled 'Página 2 de 106 - Descripción general de integridad', displays '8% Similitud general' and lists 'Exclusiones' with one item: '1x de fuente excluida'. The bottom section, titled 'Página 2 de 10 - Descripción general de la escritura con IA', displays '*% detectado como IA'. A light blue box contains a warning: 'Precaución: Se muestra revisión. Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de los factores de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.'

Particular que comunico a usted con los fines pertinentes

Latacunga, 12 de marzo de 2026

Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate. Mg.
C.C.: 0503257404
TUTOR DE TITULACIÓN

ANEXO C.

AVAL DE TRADUCCIÓN.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del tema del proyecto tecnológico cuyo título versa: **“ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)”**, presentado por: **Changoluisa Bohórquez Cristian Alexander** egresado de la Carrera de Ingeniería Industrial perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, marzo de 2026

Atentamente,



MSc. Alison Mena Barthelotty

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0501801252



ANEXO D.

CARTA DE RECEPCIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.

CERTIFICADO

Quito, 9 de marzo 2026

Quien suscribe el Gerente Aje Group Quito Norte, **YIYE HERNÁN MENDOZA LUGO** con C.I. 1309782439, luego de revisar los archivos correspondientes que reposan en la oficina a mi cargo.

Certifica que: el señor **CRISTIAN ALEXANDER CHANGOLUISA BOHÓRQUEZ** con C.I. 1722578406, se encuentra desarrollando el proyecto tecnológico con el tema: **"ARQUITECTURA DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA RUTEO DINÁMICO DE FLOTAS DE TRANSPORTE CON IOT, EDGE COMPUTING Y NOTIFICACIONES PROACTIVAS EN TIEMPO REAL (CASO: AJE ECUADOR - BIG COLA - CD QUITO NORTE)"**.

Se hace constar que se ha desarrollado y validado satisfactoriamente en su versión uno de la aplicación **AJE EC V1**, la cual posee una arquitectura de escalabilidad amplia, diseñada con el firme propósito de resolver los desafíos logísticos y operativos de la flota de transporte.

De igual manera, extendemos un profundo agradecimiento a la **Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)** y a la Carrera de Ingeniería Industrial por fomentar este tipo de vinculaciones estratégicas. Valoramos enormemente el compromiso de la institución al permitir que sus estudiantes apliquen conocimientos de vanguardia en entornos reales, impulsando así el desarrollo tecnológico y la eficiencia en el sector industrial.

LO CERTIFICO:

  Yiye Mendoza Lugo
C.I.: 1309782439
ADMINISTRADOR

Yiye Hernán Mendoza Lugo

C.I. 1309782439

GERENCIA AJE GROUP QUITO NORTE