

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Electricidad



**TEMA:**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA MIGRACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO  
(TAXIS) A SISTEMAS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE IBARRA**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero

**AUTOR:**

Erik León Oñate

**DIRECTOR:**

MSc. Naranjo Cobo Francisco Roberto

Ibarra – 2026



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

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

| DATOS DE CONTACTO           |   |                        |            |
|-----------------------------|---|------------------------|------------|
| <b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b> | 1005166028  |                        |            |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> | León Oñate Erik   |                        |            |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           | Salinas, Calle 7 de Junio y Jaime Roldós  |                        |            |
| <b>EMAIL:</b>               | <a href="mailto:eleono@utn.edu.ec">eleono@utn.edu.ec</a> / <a href="mailto:erikleononate2001@gmail.com">erikleononate2001@gmail.com</a> |                        |            |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | S/N   | <b>TELÉFONO MÓVIL:</b> | 0982286326 |

| DATOS DE LA OBRA                           |  |
|--|--|
| <b>TÍTULO:</b>                             | "Estudio de factibilidad para la migración de transporte público (taxis) a sistemas eléctricos en la ciudad de Ibarra" |
| <b>AUTOR (ES):</b>                         | Erik León Oñate  |
| <b>FECHA DE APROBACIÓN:<br/>DD/MM/AAAA</b> | 22 de enero del 2026   |
| <b>PROGRAMA:</b>                           | <b>PREGRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b> <input type="checkbox"/>                           |
| <b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>             | <b>Ingeniero(a) Eléctrico(a)</b>   |
| <b>ASESOR /DIRECTOR:</b>                   | Ing. Gerardo Collaguazo PhD.<br><br>MSc. Naranjo Cobo Francisco Roberto  |



## 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 12 días del mes de febrero del 2026

**EL AUTOR:**

.....

Erik León Oñate



## **CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, MSc. Naranjo Cobo Francisco Roberto, en calidad de director del señor estudiante Erik León Oñate, certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA MIGRACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO (TAXIS) A SISTEMAS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE IBARRA"

Para la obtención del título de Ingeniero(a) Eléctrico(a), aprobado la defensa, impresión y empastado.

.....

MSc. Naranjo Cobo Francisco Roberto

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para continuar y culminar esta etapa tan importante. A Él, que ha sido mi refugio en los momentos difíciles y mi guía en cada decisión tomada, le agradezco profundamente por su presencia constante en mi camino.

Con todo mi amor y gratitud, dedico este logro a mis padres, quienes han sido mi mayor pilar. A mi madre, por su ternura, comprensión y fe inquebrantable en mí; y a mi padre, por enseñarme el valor del esfuerzo, la constancia y la responsabilidad. Gracias por cada palabra de aliento, cada sacrificio silencioso y cada gesto de apoyo que me ha impulsado a seguir adelante. Este logro es tan mío como suyo.

A mi abuelita, por su cariño inmenso, sus oraciones constantes y su presencia siempre reconfortante. Su amor ha sido una fuente de consuelo y motivación en cada paso de este proceso.

A mis hermanas, por ser parte fundamental de mi vida. Su compañía, consejos y afecto han sido esenciales en los momentos en que más los necesitaba. Gracias por estar presentes, por creer en mí y por ser parte de esta meta alcanzada.

A mi tía, por ser una figura de apoyo incondicional y un pilar de fortaleza en momentos clave de mi formación. Su confianza, cercanía y palabras oportunas fueron fundamentales para seguir adelante cuando más lo necesitaba. Siempre llevaré su apoyo como parte esencial de este logro.

A mi familia, por cada muestra de apoyo, por confiar en mí incluso cuando yo mismo dudaba, y por acompañarme en este camino lleno de retos y aprendizajes.

A todos ustedes, gracias por ser parte de mi historia. Este trabajo es un reflejo del amor, la fe y el respaldo que he recibido de cada uno.

**Erik Leon**



## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar esta importante etapa de mi formación, deseo expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, hicieron posible la realización de este trabajo.

A Dios, por darme la fortaleza, la claridad y la perseverancia necesarias para enfrentar cada reto con fe y convicción.

A mi tutor, Msc. Francisco Naranjo, por su orientación técnica, su compromiso y, especialmente, por la confianza y amistad brindadas a lo largo del desarrollo de este proyecto. Su acompañamiento fue clave para avanzar con seguridad y claridad en cada etapa del trabajo.

A mis amigos y compañeros, quienes, con su compañía, colaboración y palabras de aliento, hicieron de este camino una experiencia enriquecedora, tanto académica como personalmente.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, por compartir generosamente sus conocimientos y por ser parte esencial de mi crecimiento profesional.

Y a la Universidad Técnica del Norte, por ser el espacio donde crecí no solo como estudiante, sino también como persona. Gracias por brindarme una formación integral, por las oportunidades académicas y por fomentar en mí el compromiso y la responsabilidad.

**Erik Leon**



## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| DEDICATORIA .....   | 5  |
| AGRADECIMIENTOS .....                                     | 6  |
| RESUMEN .....   | 15 |
| ABSTRACT.....   | 16 |
| CAPITULO 1.....   | 17 |
| Introducción .....  | 17 |
| El Problema.....  | 17 |
| 1.1    Problema de Investigación .....                    | 17 |
| 1.1.1    Problemática a investigar .....                  | 17 |
| 1.1.2    Formulación de la pregunta de investigación..... | 18 |
| 1.2    Objetivos .....                                    | 18 |
| 1.2.1    Objetivo General .....                           | 18 |
| 1.2.2    Objetivos Específicos .....                      | 18 |
| 1.3    Alcance y delimitación.....                        | 19 |
| 1.4    Justificación.....                                 | 19 |
| CAPÍTULO 2.....   | 21 |
| 2.1    Antecedentes .....                                 | 21 |
| 2.2    Bases teóricas .....                               | 23 |
| 2.3    Definición de vehículos eléctricos .....           | 24 |
| 2.4    Tipos de vehículos eléctricos .....                | 24 |



|                        |   |           |
|------------------------|---|-----------|
| 2.4.1                  | Tecnologías de almacenamiento de energía en vehículos eléctricos..... | 26        |
| 2.4.2                  | Batería del vehículo eléctrico .....                                  | 26        |
| 2.4.3                  | Tipos de baterías .....   | 27        |
| 2.4.4                  | Nuevas tecnologías en baterías de coche eléctrico.....                | 31        |
| 2.4.5                  | Gestor del cargador de baterías (BMS) .....                           | 36        |
| 2.4.6                  | Protección de las baterías de litio por medio del llamado BMS.....    | 37        |
| 2.4.7                  | Refrigeración por aire forzado.....                                   | 38        |
| 2.4.8                  | Potencia y tiempo de recarga de los vehículos .....                   | 39        |
| 2.4.9                  | Modelos de vehículos eléctricos en el Ecuador.....                    | 40        |
| 2.4.10                 | Vida útil de una batería de coche eléctrico.....                      | 41        |
| <b>CAPÍTULO 3.....</b> |   | <b>44</b> |
| 3.1                    | Delimitación del lugar .....  | 44        |
| 3.1.1                  | Enfoque metodológico.....   | 46        |
| 3.1.2                  | Estrategia de investigación .....                                     | 47        |
| 3.2                    | Técnicas.....   | 48        |
| 3.2.1                  | Encuestas .....   | 48        |
| 3.3                    | Procedimiento .....   | 50        |
| 3.3.1                  | Instalación de sistemas de monitoreo .....                            | 50        |
| 3.3.2                  | Recolección de datos en campo.....                                    | 51        |
| 3.3.3                  | Procesamiento y análisis de la información .....                      | 52        |
| 3.4                    | Materiales de campo y softwares .....                                 | 53        |
| 3.4.1                  | Material de Campo .....   | 54        |
| 3.4.2                  | Softwares .....   | 67        |



|                        |  |           |
|------------------------|--|-----------|
| 3.5                    | Fuente de monitoreo y entrevista .....   | 69        |
| 3.5.1                  | Encuesta sobre Costos Operativos y Percepciones de Conductores de Taxis 70                       |           |
| 3.6                    | Periodo de tiempo de recolección de datos .....  | 74        |
| 3.7                    | Población y Muestra.....   | 75        |
| 3.7.1                  | Justificación de la muestra.....   | 76        |
| <b>CAPITULO 4.....</b> |  | <b>77</b> |
| 4.1                    | Fabricación del GPS Autónomo.....  | 78        |
| 4.1.1                  | Descripción general del sistema .....  | 78        |
| 4.1.2                  | Montaje físico del sistema .....   | 84        |
| 4.1.3                  | Montaje en el vehículo .....   | 86        |
| 4.1.4                  | Pruebas preliminares de funcionamiento.....  | 89        |
| 4.1.5                  | Comparación de Vehículos: Vehículo de Combustión vs. Vehículo Eléctrico .....                    | 91        |
| 4.2                    | Datos de vehículos a combustión (propios) .....  | 92        |
| 4.2.1                  | Análisis de Percepciones y Condiciones Operativas del Grupo Focal de Taxistas en Ibarra .....    | 92        |
| 4.2.2                  | Datos técnicos y económicos de vehículos de combustión y eléctricos..                            | 115       |
| 4.3                    | Análisis de autonomía del vehículo eléctrico.....  | 122       |
| 4.3.1                  | Selección del día representativo .....   | 123       |
| 4.3.2                  | Validación del GPS autónomo frente al GPS comercial (FMC130).....                                | 125       |
| 4.3.3                  | Análisis energético del vehículo eléctrico sobre un perfil real de conducción (05:00–22:00)..... | 136       |
| 4.3.4                  | Análisis energético mediante simulación basada en datos real .....                               | 145       |



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



|                       |   |     |
|-----------------------|---|-----|
| 4.3.5                 | Análisis de resultados .....  | 146 |
| 4.3.6                 | Impacto de la inclinación sobre la autonomía .....                      | 149 |
| 4.3.7                 | Efecto de la temperatura y presión atmosférica sobre la autonomía ..... | 151 |
| 4.3.8                 | Análisis económico operativo (energía).....                             | 161 |
| Conclusiones .....    |   | 170 |
| Recomendaciones ..... |   | 171 |
| Referencias.....      |   | 172 |
| ANEXOS .....          |   | 177 |



## Índice de Figuras

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 1.</b> Baterías de ion de litio.....   | 29  |
| <b>Figura 2.</b> Batería del Modelo 3.....   | 32  |
| <b>Figura 3.</b> Batería con nanotecnología.....   | 33  |
| <b>Figura 4.</b> Batería de estado sólido.....   | 34  |
| <b>Figura 5.</b> Supercondensadores.....   | 34  |
| <b>Figura 6.</b> Batería EMBATT.....   | 35  |
| <b>Figura 7.</b> Ejemplo de balanceadores de celdas de litio.....  | 37  |
| <b>Figura 8.</b> Sistema de refrigeración de aire forzado para batería de HV.....  | 38  |
| <b>Figura 9.</b> Pila Tesla modelo 18650.....  | 39  |
| <b>Figura 10.</b> Reciclaje de baterías de ion de litio de coche eléctrico.....  | 42  |
| <b>Figura 11.</b> Mapa del cantón Ibarra con límites territoriales, red vial.....  | 45  |
| <b>Figura 12.</b> Diagrama de bloques que describe las actividades realizadas en el estudio.....   | 52  |
| <b>Figura 13.</b> Representación esquemática de la interconexión entre sensores y el módulo Arduino Nano ESP32.....  | 81  |
| <b>Figura 14.</b> Esquema del sistema de alimentación (alimentación dual, regulación, estabilización).....   | 84  |
| <b>Figura 15.</b> Vista general del sistema GPS autónomo ensamblado dentro de la carcasa acrílica.....   | 85  |
| <b>Figura 16.</b> Vista superior del circuito de sensores fabricado en baquelita.....  | 85  |
| <b>Figura 17.</b> Prototipo inicial del sistema GPS autónomo instalado en el vehículo durante la fase preliminar de pruebas.....   | 87  |
| <b>Figura 18.</b> Carcasa final del sistema GPS autónomo fuera del vehículo.....   | 88  |
| <b>Figura 19.</b> Ubicación del sistema GPS autónomo bajo el asiento del conductor.....  | 88  |
| <b>Figura 20.</b> Montaje del sistema GPS autónomo en el compartimento del motor (capó).....   | 89  |
| <b>Figura 21.</b> Sistema GPS autónomo en operación durante las pruebas preliminares.....  | 90  |
| <b>Figura 22.</b> Visualización de datos durante la prueba de funcionamiento.....  | 91  |
| <b>Figura 23.</b> Participación de propietarios y conductores contratados en el gremio de taxis de Ibarra.....   | 92  |
| <b>Figura 24.</b> Distribución porcentual del gasto diario en combustible de los taxistas encuestados.....   | 93  |
| <b>Figura 25.</b> Frecuencia de cambio de aceite en los vehículos de los taxistas encuestados.....   | 94  |
| <b>Figura 26.</b> Distribución de los costos promedio del cambio de aceite entre los taxistas encuestados.....   | 95  |
| <b>Figura 27.</b> Distribución de los costos promedio de mantenimiento mensual de los vehículos entre los taxistas encuestados.....  | 96  |
| <b>Figura 28.</b> Distribución de los costos anuales de reparaciones o piezas de repuesto para los vehículos de los taxistas encuestados.....                              | 96  |
| <b>Figura 29.</b> Distribución de los costos promedio mensuales de mantenimiento más frecuente realizado por los taxistas encuestados.....                                 | 97  |
| <b>Figura 30.</b> Distribución de los costos más altos en el mantenimiento de vehículos de combustión según los taxistas.....  | 98  |
| <b>Figura 31.</b> Distribución de los costos promedio por el mantenimiento de la opción más costosa del vehículo.....  | 99  |
| <b>Figura 32.</b> Distribución del costo inicial de adquisición del vehículo entre los taxistas encuestados.....   | 100 |
| <b>Figura 33.</b> Distribución de los gastos adicionales realizados para preparar el vehículo como taxi.....   | 101 |
| <b>Figura 34.</b> Distribución de las horas promedio de trabajo diarias de los taxistas.....   | 102 |
| <b>Figura 35.</b> Análisis de la cantidad de horas trabajadas diariamente por los taxistas encuestados.....  | 103 |
| <b>Figura 36.</b> Distribución del ingreso promedio diario generado por los taxistas en Ibarra.....  | 104 |
| <b>Figura 37.</b> Días con mayor generación de ingresos según taxistas encuestados.....  | 105 |
| <b>Figura 38.</b> Costos anuales por permisos y licencias del servicio de taxi en Ibarra.....  | 106 |
| <b>Figura 39.</b> Distribución porcentual de los aspectos en los que los taxistas deben invertir adicionalmente, como mantenimiento o contribuciones a la cooperativa..... | 106 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 40.</b> Percepción de los conductores frente a la incorporación de vehículos eléctricos en el servicio de taxis. ....  | 107 |
| <b>Figura 41.</b> Beneficios percibidos por los taxistas al considerar el cambio a vehículos eléctricos. ....  | 108 |
| <b>Figura 42.</b> Desventajas percibidas por los taxistas al considerar el cambio a vehículos eléctricos. ....   | 109 |
| <b>Figura 43.</b> Evaluación de los conductores sobre la adecuación de los vehículos eléctricos a las rutas habituales del servicio de taxi en Ibarra. ....                | 110 |
| <b>Figura 44.</b> Consideración de los conductores sobre cambiar su vehículo actual a uno eléctrico. ....  | 111 |
| <b>Figura 45.</b> Principales razones por las que los conductores no han considerado seriamente cambiar a un vehículo eléctrico. ....                                      | 111 |
| <b>Figura 46.</b> Incentivos percibidos como necesarios para la adopción de vehículos eléctricos. ....   | 112 |
| <b>Figura 47.</b> Consideración de los conductores para cambiar a un vehículo eléctrico si tuviera garantías sobre rendimiento y costos operativos. ....                   | 113 |
| <b>Figura 48.</b> Opinión de los conductores sobre si el gobierno o las cooperativas deberían ofrecer incentivos para facilitar la transición a vehículos eléctricos. .... | 114 |
| <b>Figura 49.</b> Resumen mensual de métricas diarias del GPS autónomo. ....   | 123 |
| <b>Figura 50.</b> Perfil altitudinal del recorrido correspondiente a la jornada evaluada. ....   | 127 |
| <b>Figura 51.</b> Velocidad vs. kilometraje recorrido (05:00–22:00). ....  | 128 |
| <b>Figura 52.</b> Trayectoria registrada por el sistema GPS autónomo durante la jornada evaluada. ....   | 128 |
| <b>Figura 53.</b> Distribución de frecuencias de velocidad entre las 05:00 y 22:00. ....   | 129 |
| <b>Figura 54.</b> Pendiente (%) vs. kilometraje recorrido (05:00–22:00). ....  | 129 |
| <b>Figura 55.</b> Histograma de pendientes registradas durante la jornada. ....  | 130 |
| <b>Figura 56.</b> Perfil altitudinal registrado por el GPS FMC130 durante el día representativo. ....  | 132 |
| <b>Figura 57.</b> Velocidad vs. kilometraje recorrido (05:00–22:00) ....   | 132 |
| <b>Figura 58.</b> Ruta de recorrido del vehículo en la ciudad de Ibarra (GPS FMC130). ....   | 133 |
| <b>Figura 59.</b> Histograma de velocidades registradas (05:00–22:00). ....  | 133 |
| <b>Figura 60.</b> Histograma de altitudes registradas (05:00–22:00). ....  | 134 |
| <b>Figura 62.</b> Comportamiento diario de las temperaturas mínima, media y máxima registradas durante el periodo de monitoreo. ....                                       | 152 |
| <b>Figura 63.</b> Relación entre la presión atmosférica promedio y la densidad del aire estimada durante el periodo analizado. ....  | 153 |
| <b>Figura 64.</b> Variación diaria de la humedad relativa promedio durante el periodo de monitoreo. ....   | 153 |
| <b>Figura 65.</b> Variación de la temperatura ambiental durante el día representativo. ....  | 155 |
| <b>Figura 66.</b> Variación de la humedad relativa durante el día representativo. ....   | 156 |
| <b>Figura 67.</b> Relación entre temperatura ambiental y humedad relativa durante el día representativo. ....  | 156 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla I Rendimiento de las baterías comercializadas actualmente según su composición química. .  | 26  |
| Tabla II Potencia y tiempo de recarga de las diferentes unidades eléctricas que circular en el Ecuador, de acuerdo con su marca y modelo. .... | 39  |
| Tabla III Vehículos eléctricos que existen en Ecuador.....   | 40  |
| Tabla IV Tipos de baterías y su capacidad.....   | 41  |
| Tabla V Esperanza de vida reportada de las baterías de vehículos eléctricos en aplicaciones de reutilización .....                             | 43  |
| Tabla VI Clasificación de las parroquias del cantón Ibarra por ámbito territorial.....   | 46  |
| Tabla VII Material y software a emplear en la investigación.....   | 53  |
| Tabla VIII Especificaciones de la Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM).....  | 54  |
| Tabla IX Especificaciones del Arduino Nano ESP32.....  | 55  |
| Tabla X Especificaciones de la Pantalla Táctil Nextion HMI (3.5").....   | 56  |
| Tabla XI Especificaciones del Módulo GPS Mini NEO-M8N.....   | 58  |
| Tabla XII Especificaciones de Antena activa gps magnética 40dBi, antena GPS Glonass con SMA/Fakra.....   | 59  |
| Tabla XIII Especificaciones de la Tarjeta de Memoria Lenovo Thinkplus TF 64GB.....   | 60  |
| Tabla XIV Especificaciones del Sensor IMU MPU-9250 (9DOF).....   | 61  |
| Tabla XV Especificaciones del Sensor de Presión y Temperatura BME280.....  | 62  |
| Tabla XVI Especificaciones del Sensor de Temperatura y Humedad DHT11.....  | 63  |
| Tabla XVII Especificaciones del Regulador de Voltaje LM2596.....   | 64  |
| Tabla XVIII Especificaciones del Módulo Conmutador YX850.....  | 65  |
| Tabla XIX Especificaciones del GPS Teltonika FMC130.....   | 66  |
| Tabla XX Fuentes de monitoreo y entrevista.....  | 70  |
| Tabla XXI Componentes principales del sistema GPS autónomo y sus funciones.....  | 79  |
| Tabla XXII Conexiones de Sensores.....   | 82  |
| Tabla XXIII Funciones técnicas de los condensadores empleados para estabilización y filtrado.....  | 82  |
| Tabla XXIV Características técnicas del vehículo de combustión seleccionado.....   | 116 |
| Tabla XXV Especificaciones técnicas y operativas del Kia Soul EV.....  | 117 |
| Tabla XXVI Especificaciones técnicas del vehículo eléctrico BYD E5.....  | 118 |
| Tabla XXVII Desempeño real del Kia Soul EV y BYD e5 en diferentes ciudades del país según condiciones de operación.....                        | 119 |
| Tabla XXVIII Comparación técnica y económica general de vehículos analizados.....  | 121 |
| Tabla XXIX Valores mínimo, promedio y máximo de kilometraje diario y selección del día representativo.....                                     | 125 |
| Tabla XXX Métricas registradas por el sistema GPS autónomo durante la jornada representativa de uso extremo.....                               | 126 |
| Tabla XXXI Métricas registradas por el GPS FMC130 durante el día representativo. ....  | 131 |
| Tabla XXXII Comparación general de métricas entre el GPS autónomo y el GPS FMC130. ....  | 135 |
| Tabla XXXIII Parámetros generales utilizados para la simulación energética.....  | 138 |
| Tabla XXXIV Cálculo del producto aerodinámico Cd A.....  | 139 |
| Tabla XXXV Parámetros físicos y constantes utilizadas en el modelo de simulación.....  | 141 |
| Tabla XXXVI Resultados del análisis energético de vehículos eléctricos bajo condiciones reales de operación (05:00–22:00 h).....               | 145 |
| Tabla XXXVII Comparación con ficha técnica.....  | 147 |
| Tabla XXXVIII Distancias diarias registradas por los taxis monitoreados.....   | 148 |
| Tabla XXXIX Inclinación promedio y crítica del recorrido diario (Ibarra).....  | 150 |
| Tabla XL Resumen mensual de variables climáticas registradas por el sistema GPS autónomo ....  | 154 |
| Tabla XLI Resumen de variables ambientales registradas el 1 de agosto de 2025.....   | 157 |



|   |            |
|---|------------|
| <b>Tabla XLII Consumo energético y autonomía simulada bajo densidades estándar y reales (1 de agosto de 2025) .....</b> | <b>157</b> |
| <b>Tabla XLIII Ajuste estimado de autonomía según temperatura promedio registrada .....</b>                             | <b>159</b> |
| <b>Tabla XLIV Comparación de autonomía real registrada en diferentes ciudades del Ecuador .....</b>                     | <b>160</b> |
| <b>Tabla XLV Costo energético diario por escenario .....</b>  | <b>162</b> |
| <b>Tabla XLVI Costo energético mensual (30 días).....</b>   | <b>163</b> |
| <b>Tabla XLVII Costo mensual estimado de mantenimiento por tipo de vehículo .....</b>                                   | <b>164</b> |
| <b>Tabla XLVIII Costos fijos mensuales .....</b>  | <b>165</b> |
| <b>Tabla XLIX Costo total de operación mensual y unitario .....</b>   | <b>165</b> |
| <b>Tabla L Parámetros de cálculo financiero.....</b>  | <b>167</b> |
| <b>Tabla LI Flujo de caja operativo comparativo (USD/año).....</b>  | <b>168</b> |
| <b>Tabla LII Análisis financiero del cambio tecnológico hacia la movilidad eléctrica.....</b>                           | <b>168</b> |



## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la factibilidad técnica, operativa y económica de la migración del transporte público tipo taxi hacia sistemas eléctricos en la ciudad de Ibarra. La investigación analizó la influencia de las condiciones topográficas y climáticas locales sobre la autonomía real de los vehículos eléctricos, considerando además los factores energéticos y económicos asociados a su funcionamiento en entornos urbanos andinos.

Se aplicó un enfoque cuantitativo con diseño descriptivo y experimental. Para la obtención de datos reales se diseñó y construyó un sistema GPS autónomo que registró velocidad, altitud, pendiente, temperatura y distancia recorrida por taxis convencionales durante una jornada representativa. A partir de esta información se realizaron simulaciones energéticas comparativas para los modelos Kia Soul EV y BYD e5, complementadas con encuestas aplicadas a conductores de cooperativas locales, con el fin de evaluar la percepción social sobre la transición tecnológica.

Los resultados demostraron que ambos vehículos eléctricos lograron cubrir los 182 km promedio diarios, confirmando su capacidad operativa bajo las condiciones topográficas y climáticas propias de la ciudad. Se evidenció una reducción de entre cuatro y ocho veces en los costos energéticos respecto a los vehículos a combustión, aunque la inversión inicial continúa siendo el principal obstáculo para su adopción masiva.

El estudio permitió establecer que los vehículos analizados no representan una limitante significativa para el transporte urbano local en la ciudad de Ibarra, contribuyendo al avance de la electromovilidad como una opción real de transporte sostenible en el país.

**Palabras clave:** electromovilidad, taxis eléctricos, autonomía, topografía, factibilidad técnica



## ABSTRACT

This study aimed to determine the technical, operational, and economic feasibility of transitioning the public taxi transport system in the city of Ibarra toward electric vehicle operation. The research analyzed the influence of local topographic and climatic conditions on the real autonomy of electric vehicles, while also considering the energy and economic factors associated with their performance in urban Andean environments.

A quantitative approach with a descriptive and experimental design was applied. To obtain real data, an autonomous GPS system was designed and implemented to record speed, altitude, slope, temperature, and distance traveled by conventional taxis during a representative working day. Based on this information, comparative energy simulations were carried out for the Kia Soul EV and BYD e5 models, complemented by surveys applied to local taxi cooperative drivers to assess the social perception of technological transition.

The results showed that both electric vehicles successfully covered the average daily distance of 182 km, confirming their operational capability under the topographic and climatic conditions of the city. A reduction between four and eight times in energy costs was identified compared to combustion vehicles, although the high initial investment remains the main obstacle to widespread adoption.

The study established that the analyzed vehicles do not represent a significant limitation for local urban transport in Ibarra, contributing to the advancement of electromobility as a real and sustainable transportation alternative in Ecuador.

**Keywords:** electromobility, electric taxis, autonomy, topography, technical feasibility



## CAPITULO 1

### Introducción

**Tema:** Estudio de factibilidad para la migración de transporte público (taxis) a sistemas eléctricos en la ciudad de Ibarra.

#### El Problema

##### 1.1 Problema de Investigación

###### 1.1.1 Problemática a investigar

El estado promueve el uso de tecnologías más limpias y energías alternativas, tanto en el sector público como privado, esto ha resultado en la implementación de diversos proyectos en ciudades del Ecuador [1]. Este impulso hacia soluciones sostenibles ha llevado a considerar la migración de vehículos de transporte público (taxis) de combustión a sistemas eléctricos. Lo que conlleva a realizar un estudio de factibilidad para la toma de decisiones antes de migrar a sistemas eléctricos, considerando la factibilidad en cuanto a la autonomía de la batería del vehículo eléctrico dentro de la ciudad de Ibarra.

Una de las problemáticas a resolver de los vehículos eléctricos, es con respecto a su autonomía y la reposición de energía en sus baterías. Es ahí que este trabajo de integración curricular se centrara en constatar la factibilidad en cuanto a la autonomía de las baterías. El cual principal problema radica en que las pruebas realizadas en cuanto a la autonomía de las baterías son analizadas en zonas geográficas diferentes al sector donde van a ser aplicadas, en este caso se necesita analizar si es factible en cuanto a la autonomía de la batería con respecto al relieve de la zona geográfica en ciudad de Ibarra. Constando según[2]. Que dentro de la ciudad una de las principales actividades económicas y con más número de registrados, es la actividad de taxis con 1186 registrados, en los



cuales 46 son cooperativas de modalidad taxi convencional y 13 de taxi modalidad ejecutiva. Lo que conlleva a constatar si la autonomía de las baterías se puede adecuar a la zona geográfica de la ciudad. Ya que proyectos registrados en las diferentes ciudades del Ecuador no han tomado en consideración este tipo estudio, lo que ha llevado a grandes fracasos llegando al caso de tener pérdidas de inversiones en los operadores del transporte público como también hacer cambios en la legislación con respecto a la migración a sistemas eléctricos.

### ***1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación***

¿Es factible migrar el transporte público (taxis) a sistemas de movilidad eléctrica, tomando en consideración la autonomía de baterías para el nivel del relieve del área geográfica de la ciudad de Ibarra?.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo General***

Determinar la factibilidad que tiene la migración del transporte público (taxis) a sistemas eléctricos haciendo énfasis en el análisis del relieve de la ciudad Ibarra con respecto a la autonomía de los vehículos eléctricos.

### ***1.2.2 Objetivos Específicos***

- 1 Describir las tecnologías de almacenamiento de energía aplicada a vehículos eléctricos acorde a la autonomía de sus baterías.
- 2 Determinar los patrones de movilidad urbana de un taxi mediante la recopilación de datos en ruta a través de softwares.
- 3 Analizar la factibilidad que conlleva la transición de taxis de combustión interna a sistemas eléctricos tomando como base la autonomía del vehículo en la ciudad de Ibarra.



### 1.3 Alcance y delimitación

La investigación centró su análisis en el comportamiento operativo de los taxis durante sus jornadas regulares de trabajo dentro del área urbana de Ibarra. Para delimitar adecuadamente el estudio, se recurrió tanto a la revisión de literatura técnica actualizada como a la obtención directa de información en campo. En particular, se examinó la autonomía de las baterías en vehículos eléctricos, contrastando los datos reportados en fuentes especializadas con mediciones reales obtenidas durante la fase experimental.

El trabajo de campo se ejecutó en cinco cooperativas activas de la ciudad. En cada una se seleccionaron tres unidades de reciente incorporación, priorizando aquellas que reflejaran condiciones operativas actuales. En total se evaluaron quince vehículos. Además, se establecieron horarios y días considerados representativos del flujo habitual de servicio, con el propósito de asegurar que las pruebas reflejaran condiciones reales de circulación.

Para el registro de información se utilizó un sistema de monitoreo vehicular diseñado específicamente para el estudio. Este sistema integró dispositivos GPS y sensores ambientales, mediante los cuales se capturaron variables como ubicación geográfica, altitud, velocidad instantánea, tiempos de recorrido y condiciones climáticas. Posteriormente, los datos fueron procesados en plataformas de análisis geoespacial, lo que permitió identificar patrones de desplazamiento y sectores urbanos con mayor demanda energética.

A partir de los registros recopilados se elaboró un perfil operativo de las unidades en condiciones normales de servicio. Este análisis permitió examinar de manera más precisa la



incidencia del relieve urbano sobre el consumo energético proyectado de un vehículo eléctrico bajo circunstancias equivalentes.

#### **1.4 Justificación**

La investigación fue planteada para evaluar la viabilidad técnica y económica de incorporar vehículos eléctricos al servicio de taxi en la ciudad de Ibarra. Para ello, se consideraron variables relacionadas con el desempeño energético de las unidades y el comportamiento de la autonomía de sus baterías frente a las características topográficas y climáticas locales. De esta manera, el estudio no se limitó a analizar únicamente el impacto ambiental asociado a la reducción de emisiones, sino que también examinó aspectos vinculados al consumo energético y a la dependencia de combustibles fósiles en el entorno urbano.

Con base en los resultados obtenidos, se formularon criterios de evaluación orientados a establecer la posibilidad real de reemplazar progresivamente vehículos de combustión interna por alternativas eléctricas. Este análisis incorporó las condiciones operativas del transporte urbano, así como la disponibilidad de infraestructura existente. En consecuencia, la información generada constituye un insumo técnico para apoyar procesos de decisión dentro de las cooperativas de taxis, especialmente en lo referente a la modernización gradual de sus flotas.



## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

El transporte público, en particular el servicio de taxis cumple un rol fundamental en la movilidad de las ciudades. No obstante, una gran parte de estas unidades opera con combustibles fósiles, lo que contribuye de manera directa a la contaminación del aire y al cambio climático. En este contexto, la transición hacia sistemas de transporte más limpios y eficientes se ha convertido en una necesidad prioritaria en numerosas áreas metropolitanas.

El transporte público cumple un papel fundamental dentro de la movilidad urbana y tiene una influencia directa en las condiciones de desplazamiento de la población. En los últimos años, ha surgido una mayor preocupación por los efectos de la contaminación atmosférica y el uso intensivo de combustibles fósiles, aspectos que guardan relación con los cambios climáticos observados. En este contexto, la electrificación del transporte público ha comenzado a considerarse como una alternativa técnica para mejorar la eficiencia y reducir impactos ambientales.

Según la Agencia Internacional de la Energía, a nivel mundial se ha registrado un aumento en el consumo de petróleo, alcanzando una cifra de 96,7 millones de barriles diarios. Este incremento se debe a que el petróleo es el componente principal para la elaboración del diésel, el cual es el combustible utilizado por los vehículos de transporte urbano público[3].

El Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) afirma [4], en comparación con los vehículos convencionales más eficientes, el uso generalizado de vehículos eléctricos tendría un impacto relevante

Los estudios realizados nos indica que el transporte por carretera representa más del 70% de las emisiones del sector [4]. Debido a la combustión incompleta de gas, petróleo, gasolina, carbón



y aceite. Lo cual en consecuencia genera problemas de salud si se tiene una exposición prolongada [5].

Se ha denotado en los últimos años un creciente número de investigaciones que han examinado los beneficios de migrar el transporte público a vehículos eléctricos, destacando la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora de la calidad del aire. Estos estudios han arrojado luz sobre la viabilidad de la migración de sistemas de transporte público convencionales a soluciones eléctricas [5].

En el Ecuador en base al balance energético del 2022, nos reporta que en el sector transporte (kBEP), dicho en sus siglas, kilo Barriles Equivalentes de Petróleo, que ha habido total de consumo anual de 49.045 kBEP. Los cuales se ha visto como más alto consumo el Diesel teniendo 24.878 kBEP, seguido por el consumo de gasolina con el 23.200 kBEP, siendo estos con más valor de consumo anual en el 2022 que a diferencia del consumo en electricidad con el 7 kBEP y el GLP con 213 kBEP,[6].

Los estudios realizados por [7], sobre el servicio de taxis en la ciudad evidencian que estas unidades recorren, en promedio, alrededor de 210 km diarios de manera continua, sin rutas previamente establecidas. Asimismo, se destaca que los taxis circulan de forma constante en búsqueda de pasajeros a lo largo de las distintas zonas urbanas de Ibarra.

En los últimos años, el servicio de transporte público en la modalidad de taxi ha presentado cambios relevantes asociados a las tarifas de cobro por kilómetro, a la variación en los precios de los combustibles fósiles y a los costos de mantenimiento vehicular. Este contexto ha motivado a distintas empresas y fabricantes a desarrollar soluciones tecnológicas orientadas a mejorar la eficiencia operativa del servicio. Como resultado, dichas innovaciones también han contribuido a una reducción gradual de las emisiones contaminantes generadas durante la operación diaria.



En el Ecuador, algunas ciudades han comenzado a incorporar de manera progresiva vehículos eléctricos dentro del transporte público, especialmente en la modalidad de taxis. Entre los primeros casos se encuentra la ciudad de Guayaquil, donde desde el año 2020 operan alrededor de 50 unidades bajo este esquema. De forma similar, otras ciudades como Riobamba, Cuenca y Loja han iniciado procesos de adopción de este tipo de transporte, orientados a reducir el uso de combustibles fósiles en el servicio urbano.

Los dueños de los VE deben recurrir a solicitar una conexión para recargar las baterías de sus vehículos ya que al adquirir estos vehículos se necesita tener accesibilidad a puntos de reponer la carga con los cargadores tipo semi-rápida los cuales se pueden abastecer de energía entre 2 a 3 horas. En cuanto a la carga lenta, la Empresa Eléctrica de Quito dice [8], que la carga lenta está diseñada para la recarga doméstica en garajes, durante un periodo aproximado de entre 6 a 8 horas. En la ciudad de Ibarra actualmente dispone de 4 puntos de carga, los cuales se encuentran en La Plaza Shopping, centro comercial Laguna Mall, Hostería el Prado y en la Gasolinera la Florida[9].

## 2.2 Bases teóricas

La industria automotriz durante muchos años fue dominada por un estándar tecnológico los vehículos de motor de combustión interna, los cuales apoyaron a la actividad humana generalizando el transporte, pero aumentando las emisiones contaminantes en el ambiente[10].

El problema que tiene el planeta actualmente es el cambio climático, que trae consigo problemas en la salud, como afecciones respiratorias, entre otras. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una de cada nueve muertes en el mundo se debe a esta causa, además, dentro del continente americano, 93 000 muertes en países de ingresos bajos y medios, en cuanto en países de ingresos altos es 44 000 muertes, esto se atribuyen a la contaminación atmosférica[10].



El transporte contribuye con casi una cuarta parte (23%) de las actuales emisiones globales de gases efecto invernadero (GEI) relacionados con la energía y presenta un crecimiento más rápido que cualquier otro sector de uso final de energía. En la Declaración del denominado Acuerdo de Paris, se indicó que de no actuar, las emisiones de GEI del transporte aumentarían en un 20% para el año 2030 y cerca del 50% para el año 2050 [11].

La electrificación de los vehículos hace que “el transporte sea más eficiente energéticamente, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia del petróleo, y mejora la calidad del aire local”[11].

### 2.3 Definición de vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos utilizan motores eléctricos para la tracción o la propulsión de este. No necesitan de ningún tipo de combustible fósil pues trabaja con la energía que recibe de las baterías. Un componente clave de los Vehículos Eléctricos (VEs) es el convertidor que transforma la corriente continua de las baterías en corriente alterna alimentando a los motores de inducción que usa esa energía alterna para crear un campo magnético giratorio que hace que el motor gire y proporcione energía mecánica para el movimiento de las ruedas[12].

Los VEs. contribuyen en el evitar la contaminación del aire y acústica. Puesto que no emite gases tóxicos al medio ambiente y él o los motores que tienen este tipo de vehículos son más silenciosos en comparación a un motor de combustión interna[12].

### 2.4 Tipos de vehículos eléctricos

**BEV (vehículo eléctrico a batería).** Corresponde a vehículos impulsados exclusivamente por uno o más motores eléctricos, sin la presencia de un motor de combustión interna. La energía necesaria para su funcionamiento se almacena en baterías recargables, las cuales se abastecen principalmente mediante conexión a la red eléctrica [13].



**HEY (vehículo híbrido eléctrico no enchufable).** Este tipo de vehículo integra un motor de combustión interna junto con uno o varios motores eléctricos. Ambos sistemas pueden participar en la tracción del vehículo, dependiendo del diseño del fabricante. En algunos casos es posible operar en modo totalmente eléctrico durante trayectos cortos, mientras que en otros el motor eléctrico actúa únicamente como apoyo. Las baterías se recargan mediante el motor térmico y la recuperación de energía durante la [13].

**PHEV (vehículo híbrido enchufable).** Combina un motor de combustión interna con un sistema eléctrico de mayor capacidad de almacenamiento energético. A diferencia de los híbridos no enchufables, sus baterías pueden recargarse conectándolas directamente a la red eléctrica, lo que permite recorrer mayores distancias en modo eléctrico [13].

**EREV (vehículo eléctrico de autonomía extendida).** Dispone de un motor eléctrico encargado de la tracción del vehículo y de un motor de combustión que funciona exclusivamente como generador cuando el nivel de carga de la batería es bajo. Estos vehículos pueden ser enchufables y su diseño busca ampliar la autonomía sin depender únicamente de la capacidad de la [13].

**FCEV (Con pila de combustible de hidrógeno).** FCEV (vehículo eléctrico con pila de combustible de hidrógeno). Utiliza motores eléctricos para la propulsión, pero la energía no se almacena en baterías convencionales, sino que se genera a partir de una pila de combustible que emplea hidrógeno. Diversos especialistas señalan que esta tecnología podría adquirir mayor relevancia en el futuro del transporte, como alternativa complementaria a los vehículos eléctricos a batería [13].



**2.4.1 Tecnologías de almacenamiento de energía en vehículos eléctricos**

Los sistemas de almacenamiento de energía utilizados en los vehículos eléctricos desempeñan un papel fundamental en la determinación de su autonomía y rendimiento general. La autonomía de un vehículo eléctrico está directamente relacionada con la capacidad y eficiencia de las baterías que utiliza.

**2.4.2 Batería del vehículo eléctrico**

La importancia de la batería es tal que la autonomía y el precio del coche dependen del tipo y tamaño de esta. Este acumulador de energía almacena la electricidad mediante elementos electroquímicos, un proceso con pérdidas mínimas que permite un rendimiento próximo al 100 %. Las baterías, dispuestas a entregar esta energía en cualquier momento, soportan un número de ciclos de carga y descarga completos, llamado ciclo de vida[13].

**Parámetros sobresalientes**

Los parámetros sobresalientes a la hora de analizar los materiales que se utilizan en las baterías se debe considerar [12].

- a) La energía específica.
- b) La densidad de energía,
- c) El número de ciclos de vida.
- d) El voltaje por celda.

**Tabla I**

**Rendimiento de las baterías comercializadas actualmente según su composición química.**

|       | Características de tipos de baterías |                  |                               |              |
|-------|--------------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------|
|       | Plomo<br>Acido                       | Níquel<br>Cadmio | Níquel<br>Hidruro<br>Metálico | Ión<br>litio |
| Costo | Bajo                                 | Medio            | Alto                          | Muy alto     |



|  |                         |           |                         |                   |                   |
|--|-------------------------|-----------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Energía Especifica<br/>Wh - kg-1</b>    |                         | 30-50     | 50-80                   | 40-100            | 160               |
| <b>Voltaje por celda</b>                   |                         | 2         | 1.25                    | 1.25              | 3.6               |
| <b>Corriente del<br/>cargador</b>          |                         | Bajo      | Muy bajo                | Moderado          | Alto              |
| <b>Numero de ciclos</b>                    |                         | 200 - 500 | 1000                    | 1000              | 1200              |
| <b>Descarga<br/>automática por<br/>mes</b> |                         | Bajo(5%)  | Moderado-<br>alto (20%) | Alto (30%)        | Bajo (10%)        |
| <b>Tiempo para carga<br/>(h)</b>           | Recarga Lenta           | 8 a 14 h  | 10 a 12 h               | 10 a 12 h         | 5 a 8 h           |
|  | Recarga semi-<br>rápida | 4 a 6 h   | 2 a 4 h                 | 1 a 3 h           | 1 a 2 h           |
| <b>Potencia de la<br/>batería</b>          |                         | 180 W/kg  | 150 W/kg                | 250 - 500<br>W/kg | 250 - 340<br>W/kg |

Fuente: Extraída de [12]

### 2.4.3 Tipos de baterías

Existe una amplia variedad de baterías en función de los componentes químicos empleados en su fabricación, entre las que se incluyen tecnologías como plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-zinc, NiMH, zinc-bromo, zinc-cloro, zinc-aire, sodio-azufre, sodio-metal cloruro y Li-ion. Las características de cada una de estas baterías varían de acuerdo con su aplicación y con los requerimientos del usuario, varían de acuerdo con su aplicación y con los requerimientos del usuario.

A finales del siglo XX, una de las decisiones que influyó en la selección de determinadas tecnologías de almacenamiento fue la adoptada por General Motors al incorporar baterías de níquel-metal hidruro en sus vehículos eléctricos puros. Este antecedente marcó una referencia importante dentro de la industria automotriz. Posteriormente, ya en la década siguiente, fabricantes como Toyota y Honda fortalecieron la presencia de vehículos híbridos en el mercado. Estos modelos lograron una aceptación considerable, principalmente por su eficiencia en el consumo de combustible y por ofrecer menores niveles de emisiones, manteniendo el uso de baterías NiMH como solución tecnológica predominante en ese momento. No obstante, en la última década surgió la necesidad de alcanzar mayores densidades energéticas en vehículos eléctricos e híbridos



enchufables, lo que reabrió el debate sobre las tecnologías de baterías y otorgó una nueva relevancia a las baterías de ion-litio en el mercado de la movilidad eléctrica [14].

### ***Principios operativos cruciales de las baterías recargables***

Si bien es cierto que dependiendo del material utilizado a la hora de fabricar una batería se consigue mejorar unas propiedades respecto a otras, el principio de funcionamiento químico es el mismo para todas. En general, una batería está compuesta por un electrodo positivo, de potencial alto, y uno negativo de potencial bajo, separados mediante un electrolito, basado en un ion conductor pero eléctricamente aislante. Durante el proceso de carga el electrodo positivo es el cátodo y en él se lleva a cabo la reacción de reducción. El electrodo negativo será el ánodo produciéndose en él la oxidación. Durante la descarga la reacción se produce al revés, el cátodo es el electrodo positivo y el ánodo el negativo [14].

### ***Batería de Li-ion***

Las baterías de Li-ion es el tercer tipo más comercializado para aplicaciones de VEs. Dado que el Litio es el metal con el mayor potencial negativo y el menor peso atómico, las baterías que usan Litio tienen el mayor potencial para alcanzar el avance tecnológico que proporciona a los VEs las mayores características de rendimiento en cuanto a aceleración y autonomía. Durante una descarga de una batería de Li-ion, los iones de Litio ( $\text{Li}^+$ ) son expulsados desde el ánodo y viajan a través de un electrolito orgánico hasta el cátodo [14].

El proceso electroquímico en el cátodo es fundamental, ya que el litio presenta alta reactividad frente al agua presente en electrolitos acuosos. Al llegar al cátodo, los iones de litio se incorporan al material activo, en un proceso que resulta altamente reversible. En el diseño de los cátodos se consideran principalmente óxidos de metales de transición como cobalto, níquel y manganeso. Inicialmente, el desarrollo de estas baterías se orientó hacia el óxido de cobalto debido



a sus ventajas técnicas; sin embargo, este material presenta un mayor costo en comparación con las alternativas basadas en níquel y manganeso, siendo este último el de menor costo [14].

Las baterías de Li-ion tienen también un potencial excepcional para vida larga. Bajo la operación normal, existen unos pocos cambios estructurales de los ánodos y los cátodos mediante la intercalación y retirada de los iones de Litio más pequeños. Adicionalmente, la alta tensión y el diseño convencional de las baterías de Li-ion mantienen la promesa del bajo costo de la batería, especialmente cuando el Cobalto se reemplaza por Manganeso[14].



**Figura 1.** Baterías de ion de litio.

**Fuente:** Adaptado de [13]

### ***Batería de Polímero de Litio***

Las baterías de polímero de litio constituyeron el cuarto tipo de baterías comercializadas para aplicaciones en vehículos eléctricos. El desarrollo de sólidos no metálicos con capacidad de conducción iónica permitió la implementación de este tipo de baterías, cuyos ánodos pueden estar compuestos por litio metálico o por litio intercalado en carbono. Esta configuración química presentó un elevado potencial para alcanzar altas densidades de energía; sin embargo, también evidenció limitaciones asociadas a una menor potencia específica y a ciclos de vida más reducidos en comparación con otras tecnologías de baterías de litio-polímero [14].

El colector de corriente de las baterías de polímero de litio se fabricó, por lo general, a partir de cobre o láminas de aluminio, recubiertas por materiales conductores a baja temperatura, como el



poliuretano. En cuanto a la carcasa, se emplearon materiales como polipropileno reforzado o poliestireno. Estas baterías fueron consideradas de estado sólido debido a que su electrolito se presenta en forma sólida [14].

Este tipo de diseño permitió mejoras significativas en la seguridad de las baterías, ya que, al tratarse de un sistema de estado sólido, se redujo el riesgo de fuga del electrolito en caso de daños en la carcasa durante un accidente vehicular. Además, al encontrarse el litio intercalado en ánodos de carbono, el elemento se mantiene en forma iónica, lo que disminuye su reactividad en comparación con el litio metálico puro. Otra ventaja relevante de esta tecnología es la posibilidad de fabricar baterías de polímero de litio en diversas formas y tamaños, otorgando mayor flexibilidad a los fabricantes de vehículos [14].

### ***Batería de ion de sodio***

Son similares a las de iones de litio, pero son más estables, menos tóxicas y más baratas que las de litio. Destacan las baterías de níquel-cloruro de sodio (conocida como Zebra) o las baterías de sodio fundido[13].

### ***Batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH)***

El ánodo es de oxidróxido de níquel ( $\text{NiOOH}$ ), como la batería de níquel-cadmio, pero su cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el cadmio, que es muy caro y, además, representa un peligro para el medioambiente. Asimismo, posee una mayor capacidad de carga[13].

### ***Tendencias de desarrollo***

En la actualidad, se encuentran en fase de desarrollo otras tipologías de baterías basadas en materiales y elementos novedosos, las cuales podrían representar una solución relevante en el



ámbito de la movilidad eléctrica, siempre que dichas tecnologías alcancen un nivel adecuado de madurez tecnológica [15].

#### ***2.4.4 Nuevas tecnologías en baterías de coche eléctrico***

El futuro del coche eléctrico depende, básicamente, de los avances tecnológicos que actualmente se están experimentando. Se trata de disponer de baterías con mayor capacidad, menor tiempo de recarga y bajo precio. De las tecnologías nuevas en baterías de coche eléctrico se destacan[13].

##### ***Batería de litio y azufre***

Sigue empleando electrolito líquido, y su energía específica podría superar los 350 Wh/kg. Presentan el inconveniente de que tienen que utilizar grafeno, que todavía es complicado de producir a gran escala[13].

##### ***Batería de litio metal***

Se trata de utilizar electrodos negativos con metal de litio, el cual aumenta considerablemente la capacidad de almacenamiento de las baterías[13].

##### ***Batería litio-aire***

Generan una corriente eléctrica cuando los iones de litio reaccionan con el oxígeno, formando óxido de litio. Cuentan con una capacidad de almacenamiento 10 veces superior a las de ion de litio[13].

##### ***Batería zinc-aire***

Desarrolladas por una compañía suiza, y en fase experimental, pero con un mayor nivel de desarrollo en comparación con las baterías de aluminio-aire. Este tipo de baterías requiere la obtención de oxígeno desde la atmósfera para generar una corriente [13].



### *Baterías de flujo*

Este sistema utiliza un electrolito acuoso que permite alargar la autonomía del vehículo de una forma sencilla y ecológica. Este fluido, llamado bi-lon, es un derivado del agua marina y gracias a sus propiedades permite conducir la electricidad perfectamente. La gran ventaja de este sistema es que el vehículo no necesita conectarse a la red eléctrica para cargar sus baterías[13].

### *Batería del Modelo 3 de Tesla*

Utiliza un nuevo formato de celda (21 mm de diámetro y 70 mm de largo) para conformar la batería. Las celdas son en formato 2170 (21 x 70) de forma cilíndrica. Se trata de una batería de ion de litio. Dispone de un rollo de gelatina envuelto en una lámina de cobre que actúa como tierra para la batería. El rollo de gelatina presenta un óxido de litio-níquel-cobalto-aluminio[13].

La batería del Modelo 3 está formada por 2976 celdas en grupos de 31 celdas por paquete. Los paquetes están divididos en cuatro módulos independientes (2 módulos de 23 paquetes y 2 módulos de 25 paquetes)[13].



**Figura 2.** Batería del Modelo 3.

**Fuente:** Adaptado de [13]

El paquete de baterías contiene el sistema de gestión de la batería en una unidad integrada, cargador y convertidor DC/DC[13].



### *Baterías con nanotecnologías*

No es estrictamente un tipo de batería sino un tipo de ánodo aplicable a las actuales baterías. El ánodo multiplica la superficie de contacto con el electrolito mejorando espectacularmente las prestaciones de las baterías sin aumentar su tamaño y peso[13].

El desarrollo nanotecnológico engloba a varios tipos como el grafeno, la trifilina, nanohilos, estructuras de espuma, entre otros[13].



**Figura 3.** Batería con nanotecnología.

**Fuente:** Adaptado de [13]

### *Baterías de estado sólido*

El electrolito es de metal de litio en lugar de líquido. Gracias a esto la densidad energética y eficiencia aumentan y disminuye notablemente su inflamabilidad. Además todo son ventajas mejorando tiempos de recarga y ciclos de vida. Todo apunta a que pueden suponer el siguiente escalón tecnológico a medio plazo. La autonomía puede ser de 800 km y la carga de un minuto[13].



Figura 4. Batería de estado sólido.

Fuente Adaptado de [13]

### *Supercondensadores*

Los condensadores son acumuladores eléctricos perfectos. Se trata de un almacén de electrones sin electrolito. Tienen baja densidad energética, que se puede aumentar con el desarrollo de membranas dieléctricas. Otra posible solución es la batería híbrida de iones de litio y condensadores. Con esto se tienen las ventajas de larga distancia y de carga y potencia rápida. Junto con ello, la frenada regenerativa recuperaría un 450 % más de energía, ya que los sistemas actuales ofrecen poca energía por la lentitud de carga de las baterías[13].

Actualmente, no se busca el sustituir las baterías de iones de litio. sino complementar sus prestaciones con los supercondensadores[13].



Figura 5. Supercondensadores.

Fuente: Adaptado de [13]



### ***Batería de hidrógeno***

Difieren del resto de baterías en que se recarga con hidrógeno en lugar de con electricidad. Si se junta hidrógeno con oxígeno, se forma agua (electrólisis inversa) y al mismo tiempo se genera energía[13].

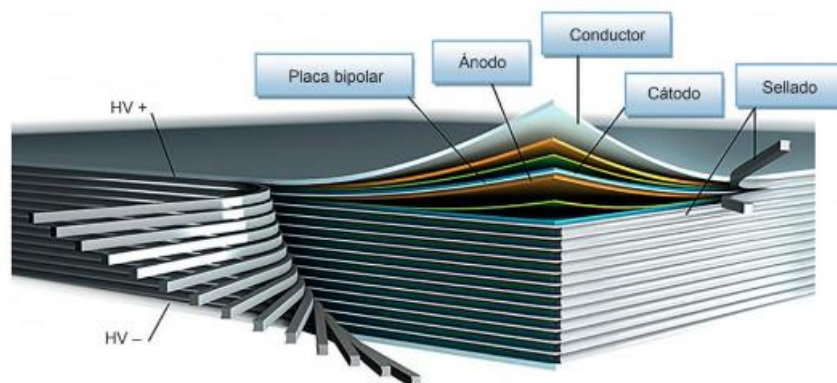
El combustible (hidrógeno) se convierte en agua y no se vuelve a utilizar, sino que se tira. Por eso es necesario rellenarlas de hidrógeno. La autonomía suele ser de unos 800 km[13].

### ***Batería EMBATT***

Es una batería con acoplamiento bipolar y mezcla de material especial. La mayoría de las baterías están formadas por celdas recargables recogidas en corpulentos contenedores, las futuras baterías EMBATT se integrarán directamente en el chasis, sin un recipiente que la contenga, lo cual obliga a replantear las celdas de recarga tal y como las conocemos ahora[13].

Están formadas por electrodos bipolares mediante finísimas placas de 300 micras con el ánodo y el cátodo en cada una de sus caras más un delgado recubrimiento, capaces de conseguir 3.2 voltios unitariamente[13].

Se pretende lograr una autonomía de 1100 km y una tensión de 1200 V (alta tensión HV)[13].



**Figura 6.** Batería EMBATT.

**Fuente:** Adaptado de [13]



### ***Baterías híbridas***

Se trata de una batería dual, patentada por Tesla, compuesta por una de ion de litio para los recorridos cortos y otra de metal-aire para largos recorridos. De esta forma se reduce el tamaño y el peso de las baterías de litio, lo que permite una segunda batería de metal-aire. Estas baterías están situadas en dos módulos independientes haciendo uso de tecnologías diferentes[13].

### ***Baterías de alto voltaje (HV)***

En los sistemas de propulsión eléctrica se observa una tendencia hacia el uso de baterías que operan a niveles de voltaje cada vez más elevados. Esta evolución responde principalmente a la necesidad de reducir los tiempos de carga y mejorar el desempeño del sistema de potencia del vehículo. De acuerdo con algunos fabricantes, se considera que una batería comienza a clasificarse como de alto voltaje cuando supera valores cercanos a los 120 V en corriente continua [13].

#### ***2.4.5 Gestor del cargador de baterías (BMS)***

El BMS, siglas en inglés de Battery Management System (Sistema de Gestión de Batería), es un componente fundamental en los vehículos eléctricos e híbridos que se encarga de controlar y supervisar el estado de la batería. Su principal objetivo es maximizar la eficiencia y durabilidad de la batería, así como garantizar un rendimiento óptimo y seguro[13].

***Los efectos del voltaje de carga para una batería de litio. Se considera en el documento***

***[13], Indica que:***

- a) **Sobrecarga:** formación de placas de litio/sobrecalentamiento.
- b) **Sobre descarga:** destrucción del ánodo y cátodo.

***Efectos de la temperatura en baterías. En el documento [13], nos indica que:***

- a) **Baja temperatura de funcionamiento:** reducción de la corriente en la carga y descarga, con lo que se reduce la potencia útil.



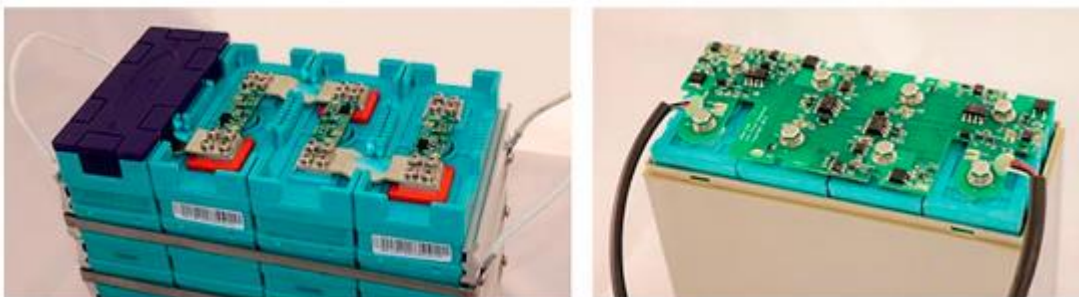
- b) **Alta temperatura de funcionamiento:** destrucción de la celda.
- c) **Fuga térmica.**

#### 2.4.6 *Protección de las baterías de litio por medio del llamado BMS.*

Lo principal razón de lo corta vida de las baterías de cualquier tipo suele ser su mala conservación; bien porque permanecen descargadas o porque se descargan más de lo conveniente (tanto las de plomo como las de ion de litio no toleran bien las descargas por debajo de un determinado nivel). El BMS se utiliza principalmente en los baterías de litio que son peligrosas si se sobrecargan o cortocircuitan[13].

*El objeto del BMS es asegurar el buen funcionamiento de la batería como se detalla en [13].*

- a) Desconectar o apagar la carga cuando la tensión de una celda cae por debajo de un valor establecido.
- b) Detener el proceso de carga cuando la tensión de una celda de la batería es superior a un determinado valor.
- c) Apagar el sistema cuando la temperatura en una celda es superior a un valor determinado.
- d) Comunicarse con unidades fuera de la batería como la que controla el motor eléctrico (por tanto, la velocidad del automóvil), recuperación de energía en las frenadas, entre otros.



**Figura 7.** Ejemplo de balanceadores de celdas de litio.



**Fuente:** Adaptado de [13]

De los puntos de medida salen los cables y llevan el valor de estos hasta el BMS de la batería. En el BMS de la batería tiene salidas a visualización en pantalla de las medidas de la batería, conexión a red Bus CAN, salidas a alimentación de relés para operaciones de control y protección[13].

Este sistema está en comunicación con el módulo electrónico de potencia. A lo hora de cambiar las pilas de las baterías de ion de litio no se tiene que cambiar el BMS de la batería[13].

#### ***2.4.7 Refrigeración por aire forzado***

Enfriamiento por circulación de un refrigerante a base de agua a través de conductos de refrigeración ubicados dentro de la estructura de la batería[13].

#### ***Refrigeración de baterías de HV***

Toyota, en los híbridos, monta en la batería HV un sistema de refrigeración de aire forzado. El BMS de la batería supervisa el estado de la batería HV y controla el ventilador de refrigeración, para mantenerla a una temperatura predeterminada[13].

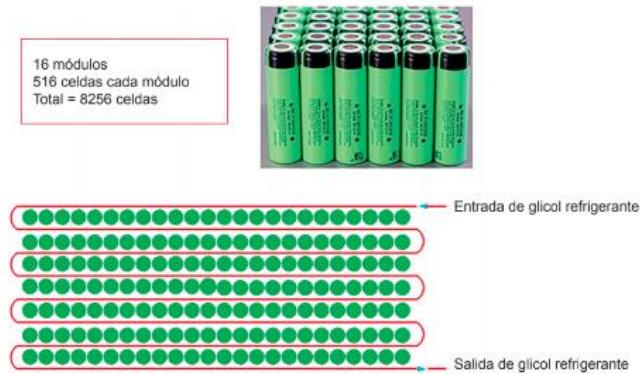


**Figura 8.** Sistema de refrigeración de aire forzado para batería de HV.

**Fuente:** Adaptado de [13]



Tesla utiliza un sistema de refrigeración que consiste en un serpentín que va a través de las celdas. Debido a que las pilas de Tesla utilizan miles de celdas pequeñas favorece la refrigeración[13].



**Figura 9.** Pila Tesla modelo 18650.

Fuente: Adaptado de [13]

### 2.4.8 Potencia y tiempo de recarga de los vehículos

Mediante la variación de potencia ya sea al modificar su voltaje o su amperaje se tiene diferentes tiempos de recarga para los VEs[12].

**Tabla II**

**Potencia y tiempo de recarga de las diferentes unidades eléctricas que circular en el Ecuador, de acuerdo con su marca y modelo.**

| MARCA   | MODELO    | RECARGA     |         |             |                      |
|---------|-----------|-------------|---------|-------------|----------------------|
|         |           | Tipo        | Voltaje | Amperaje    | Tiempo de 10% a 100% |
| Hanteng | X5 EV     | Lenta       | 220 V   | 10:00 a. m. | 6 h, 23 min          |
| Hanteng | X5 EV     | Semi-rápida | 220 V   | 16 A        | 1 h, 10 min          |
| BYD     | E5        | Lenta       | 220 V   | 10:00 a. m. | 6 h, 00 min          |
| BYD     | E5        | Semi-rápida | 220 V   | 16 A        | 0 h, 60 min          |
| CHOK    | G2        | Lenta       | 220 V   | 10:00 a. m. | 8 h, 00 min          |
| Nissan  | Leaf 2018 | Lenta       | 220 V   | 10:00 a. m. | 18 h, 11 min         |
| Nissan  | Leaf 2018 | Semi-rápida | 220 V   | 16 A        | 2 h, 00 min          |
| Nissan  | Leaf 2019 | Lenta       | 220 V   | 10:00 a. m. | 28 h, 11 min         |
| Nissan  | Leaf 2019 | Semi-rápida | 220 V   | 16 A        | 2 h, 30 min          |



|         |            |             |       |             |              |
|---------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| Renault | Twizy Z.E. | Lenta       | 220 V | 10:00 a. m. | 3 h, 30 min  |
| Kia     | Sould EV   | Lenta       | 220 V | 10:00 a. m. | 5 h, 00 min  |
| Kia     | Sould EV   | Semi-rapida | 220 V | 16 A        | 0 h, 45 min  |
| Renault | Kangoo     | Lenta       | 220 V | 10:00 a. m. | 14 h, 50 min |
| Renault | Kangoo     | Semi-rapida | 220 V | 16 A        | 1 h, 20 min  |

Fuente: Extraída de [12].

#### 2.4.9 Modelos de vehículos eléctricos en el Ecuador

Un estudio realizado ha permitido conocer los vehículos existentes actualmente en Ecuador, de esta manera podemos apreciar de acuerdo con su marca modelo y autonomía, aquellos que se comercializan en el mercado automotriz[12], [16].

**Tabla III**

**Vehículos eléctricos que existen en Ecuador**

| MODELO     | MARCA   | AUTONOMÍA EN CICLO DE CONDUCCIÓN NEDC |
|------------|---------|---------------------------------------|
| X5 EV      | Hanteng | 300 km                                |
| E5         | BYD     | 250 km                                |
| G2         | CHOK    | 100 km                                |
| Leaf       | Nissan  | 160 km                                |
| Cross      | CHOK    | 120 km                                |
| Twizy Z.E. | Renault | 100 km                                |
| Sould EV   | Kia     | 212 km                                |
| Kangoo     | Renault | 170 km                                |

Fuente: Extraída de [12]

#### *Características de los vehículos eléctricos en el Ecuador*

Mediante datos recopilados se ha tomado en consideración que cada marca y modelo tiene variación en cuanto a su diseño, por tal razón se describe sus componentes y características importantes que está conformado un vehículo eléctrico como: Baterías, motores eléctricos y su potencia con su recarga[12].



### *Tipos de baterías de los vehículos en el Ecuador*

Luego de haber realizado una investigación se pudo obtener, en la cual se puede apreciar cada tipo de batería y la capacidad de esta, variando así siempre ya sea por la marca o modelo del vehículo[12].

**Tabla IV**

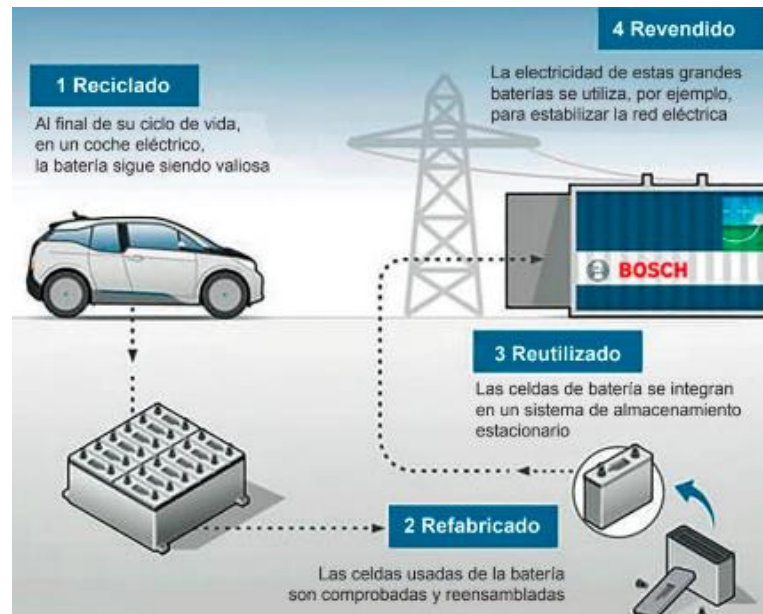
**Tipos de baterías y su capacidad**

| MARCA   | MODELO     | BATERÍA                         |           |
|---------|------------|---------------------------------|-----------|
|         |            | Tipo                            | Capacidad |
| Hanteng | X5 EV      | Litio ferrofosfato              | 42.7 kWh  |
| BYD     | E5         | Litio ferrofosfato              | 51.2 kWh  |
| CHOK    | G2         | Iones de litio                  | 4.3 kWh   |
| Nissan  | Leaf 2018  | Iones de litio                  | 40 kWh    |
| Nissan  | Leaf 2019  | Iones de litio                  | 62 kWh    |
| Renault | Twizy Z.E. | Iones de litio                  | 6.1 kWh   |
| Kia     | Sould EV   | Acumulador de polímero de litio | 27 kWh    |
| Renault | Kangoo     | Iones de litio                  | 33 kWh    |

**Fuente:** Extraída de [12]

#### **2.4.10 Vida útil de una batería de coche eléctrico**

La vida de una batería de coche eléctrico no es la misma para todos los modelos y varía según varios factores. Los fabricantes indican que la vida de una batería es de media de 3000 ciclos de recarga completos, es decir cargas y descargas[13].



**Figura 10.** Reciclaje de baterías de ion de litio de coche eléctrico.

**Fuente:** Adaptado de [13].

El mayor desgaste de una batería de vehículo eléctrico ocurre durante las primeras etapas de uso, con una reducción aproximada del 5 % de su capacidad durante los primeros 50 000 km, de acuerdo con información reportada por el fabricante Tesla. Una vez que la batería alcanza el final de su vida útil para aplicaciones de tracción, aún conserva capacidad suficiente para ser utilizada en otros sistemas energéticos, como el almacenamiento estacionario de energía en instalaciones fotovoltaicas residenciales.

Cuando la batería deja de ser funcional incluso para aplicaciones secundarias, pasa a considerarse un residuo que debe ser gestionado de manera adecuada. En este contexto, una de las principales ventajas de las baterías de litio es su elevada tasa de recuperación de materiales, superior al 90 %. Por esta razón, los fabricantes de vehículos eléctricos están obligados a garantizar el reciclaje de las baterías a lo largo de todo su ciclo de vida, ya sea por siniestros o por envejecimiento natural del sistema [13].



### *Reciclado y reutilización de las baterías*

Desde el punto de vista del desarrollo sostenible, se puede generar la economía circular para el reciclaje y reuso de las baterías de VE, ya que existe una notable contribución a la parte económica y social[17].

**Tabla V**

#### **Esperanza de vida reportada de las baterías de vehículos eléctricos en aplicaciones de reutilización**

| Aplicación segunda vida de la batería para vehículos eléctricos.                | Años adicionales de vida útil después del primer uso en EV.   |
|---|---|
| Sistemas de almacenamiento de energía.  | Las baterías para VE pierden un 15 % adicional de su capacidad después de 10 años adicionales de uso. |
| Soporte de energía para estaciones de carga rápida se VE.                       | 30 años.  |
| Almacenamiento de energía en el hogar.  | 12 años.  |
| Servicio orientado a la red (regulación de área y aplazamiento de transmisión). | 6 - 12 años   |
| Aplicaciones en micro movilidad.  | 3 - 15 años, y 8 - 20 años dependiendo de la aplicación.  |

**Fuente:** Extraída de [17]



## CAPÍTULO 3

### MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se describe la metodología empleada para el desarrollo de la investigación, la cual se enmarca geográficamente en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura. Se detallan los métodos, técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y el análisis de datos, con el objetivo de cumplir con los propósitos planteados en la investigación y validar la factibilidad técnica de la migración del transporte público a sistemas eléctricos.

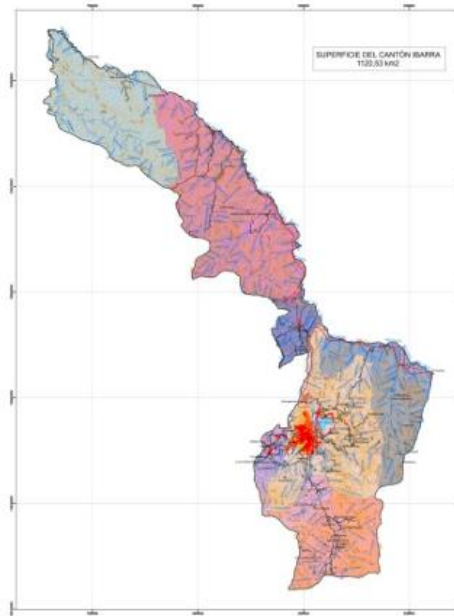
#### 3.1 Delimitación del lugar

El desarrollo de la investigación tuvo lugar en la ciudad de Ibarra, capital de la provincia de Imbabura, ubicada en la región Sierra Norte del Ecuador. La ciudad se caracteriza por presentar variaciones topográficas y una red vial que articula zonas urbanas consolidadas con sectores periféricos. Estas características condicionaron el comportamiento de la movilidad diaria y el funcionamiento habitual del servicio de taxis, aspectos fundamentales para el presente estudio.

Para comprender el contexto territorial, se empleó información cartográfica correspondiente a los límites administrativos del cantón y a su red vial principal, tal como se muestra en la Figura 11. El análisis de estos elementos permitió interpretar el entorno físico donde se evaluó la posible



operación de vehículos eléctricos, tomando en consideración las condiciones reales de circulación y los recorridos habituales.



**Figura 11.** Mapa del cantón Ibarra con límites territoriales, red vial.

**Fuente:** Adaptado de [18]

El cantón Ibarra se compone de zonas urbanas y rurales, cada una con jerarquías funcionales diferenciadas. La ciudad de Ibarra constituye el núcleo urbano con mayor densidad poblacional, además de concentrar la mayoría de los servicios institucionales, comerciales y de transporte. En contraste, parroquias rurales como San Antonio, aunque de menor densidad, mantienen una dinámica económica activa y creciente.

La organización territorial del cantón influyó de manera directa en las dinámicas de desplazamiento vehicular. Las diferencias existentes entre parroquias urbanas y rurales, tanto en términos de accesibilidad como de conectividad, implicaron variaciones en las distancias recorridas y en las condiciones de tránsito. En consecuencia, el estudio espacial resultó necesario para examinar la factibilidad técnica de la movilidad eléctrica, ya que permitió incorporar variables como



el relieve predominante, las rutas de mayor frecuencia y los tramos que podrían demandar un mayor consumo energético.

A continuación, se presenta la tabla VI que clasifica las parroquias del cantón Ibarra según su condición urbana o rural. Esta clasificación servirá como base para el análisis territorial de los patrones de movilidad evaluados en el presente estudio [19].

**Tabla VI**

**Clasificación de las parroquias del cantón Ibarra por ámbito territorial**

| ÁMBITO | PARROQUIA     |
|--------|---------------|
| Urbano | ALPACHACA     |
| Rural  | AMBUQUÍ       |
| Rural  | ANGOCHAGUA    |
| Urbano | CARANQUI      |
| Rural  | LA CAROLINA   |
| Rural  | LA ESPERANZA  |
| Rural  | LITA          |
| Urbano | PRIORATO      |
| Rural  | SALINAS       |
| Rural  | SAN ANTONIO   |
| Urbano | SAN FRANCISCO |
| Urbano | SAGRARIO      |

**Fuente:** Extraído de [2]

### ***3.1.1 Enfoque metodológico***

#### ***Enfoque Cuantitativo***

El presente estudio acogió un enfoque cuantitativo, dado que se basó en la recolección de datos numéricos mediante dispositivos GPS y su posterior análisis estadístico. Este enfoque permitió medir y cuantificar los efectos de las variables geográficas sobre el rendimiento energético de los vehículos eléctricos, estableciendo relaciones entre distancia, topografía y consumo de energía.



### *Enfoque Cualitativo*

De forma complementaria, el estudio incorporó un enfoque cualitativo con el propósito de comprender las percepciones y opiniones de los operadores del servicio de transporte tipo taxi. A través de entrevistas semiestructuradas, se interpretaron los factores sociales, económicos y operativos que influyen en la adopción de vehículos eléctricos dentro del sistema de transporte público.

#### **3.1.2 Estrategia de investigación**

##### ***Investigación Bibliográfica***

Se realizó un análisis exhaustivo de fuentes especializadas en el ámbito de la movilidad eléctrica, con el propósito de sustentar teóricamente el estudio sobre la incorporación de taxis eléctricos y la autonomía de sus baterías. Para ello, se consultaron artículos científicos, informes técnicos y estudios académicos recientes, enfocados en variables como el rendimiento energético, los costos operativos y la viabilidad técnica de estos sistemas dentro del transporte urbano.

##### ***Investigación Inductiva***

Este enfoque se aplicó para analizar la idoneidad de los vehículos eléctricos en el servicio de taxi, mediante la recopilación y análisis de datos empíricos obtenidos en el contexto operativo real. Las fuentes de información incluyeron entrevistas semiestructuradas a operadores del servicio de transporte tipo taxi y el registro de datos operativos recopilados por los dispositivos GPS. A partir de las observaciones realizadas, se identificaron patrones y tendencias que permitieron evaluar la viabilidad técnica y funcional del proceso de incorporación de taxis eléctricos en la ciudad de Ibarra.



### *Investigación experimental aplicada en campo*

Se diseñó un protocolo experimental con el propósito de registrar el comportamiento operativo real de los taxis a combustión que circulan en la ciudad de Ibarra. Este protocolo incluyó la instalación de sistemas de monitoreo, la definición de rutas representativas y la recolección de variables como consumo de combustible, distancia recorrida, velocidad promedio y condiciones de conducción. Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis estadístico, generando una línea base confiable que permitió caracterizar la operación típica del transporte urbano convencional.

### *Investigación Comparativa*

A partir de los resultados experimentales obtenidos con los taxis a combustión, se desarrolló un análisis comparativo orientado a evaluar la factibilidad técnica y económica de migrar hacia vehículos eléctricos. Este análisis consideró el consumo energético, la autonomía, los costos operativos y las condiciones reales de conducción en la ciudad de Ibarra. Los indicadores derivados del estudio experimental sirvieron como punto de referencia para simular el comportamiento de los modelos eléctricos seleccionados, permitiendo establecer diferencias objetivas de desempeño y rentabilidad entre ambas tecnologías.

## **3.2 Técnicas**

### **3.2.1 Encuestas**

Las encuestas se aplicaron a conductores pertenecientes a diversas cooperativas de taxis, así como a unidades independientes que operan en la ciudad de Ibarra, con el fin de obtener información representativa del sector. La aplicación de este instrumento permitió complementar los datos técnicos obtenidos mediante el sistema GPS autónomo, incorporando información relacionada con



la experiencia operativa de los conductores, las prácticas de mantenimiento y la percepción sobre la rentabilidad del servicio. Los aspectos a abordar incluirán:

### ***Costos operativos***

Se indagarán los gastos relacionados con combustible, mantenimiento, seguros y otros costos inherentes a la operación diaria de los taxis. Las preguntas estarán orientadas a conocer el gasto promedio de combustible y los costos de mantenimiento recurrentes, como el cambio de aceite, reemplazo de piezas y otros gastos asociados con el funcionamiento del vehículo.

### ***Costos de Inversión***

Se recopilará información sobre el financiamiento inicial del vehículo, ya sea mediante compra o arrendamiento, así como los pagos de préstamos, si los hubiera. Esto incluirá la identificación de los gastos iniciales en los que incurre el conductor para poner en funcionamiento su unidad.

### ***Ingresos***

Se registrará información sobre los ingresos generados por el servicio de taxi durante un período determinado, lo que permitirá calcular la relación entre ingresos y gastos y determinar la rentabilidad del servicio. Esta sección también incluirá la percepción de los conductores sobre los días más rentables de la semana, con el fin de identificar la variabilidad de las ganancias.

### ***Gastos Indirectos***

Se analizarán los costos asociados con la gestión del negocio, como el mantenimiento de registros, los gastos administrativos, impuestos, tarifas de licencia y cualquier otro costo no directamente relacionado con la operación del vehículo, pero necesario para mantener la actividad comercial.



### *Horas de trabajo*

Se consultará el número de horas trabajadas al día y el tiempo promedio de conducción en distintas rutas. Esta información permitirá comprender la jornada laboral de los conductores y cómo se distribuye el tiempo entre turnos diurnos y nocturnos.

### *Percepciones sobre vehículos eléctricos*

Se abordarán las opiniones y actitudes hacia la posible transición a vehículos eléctricos, incluyendo sus ventajas, desventajas y principales preocupaciones. Las preguntas explorarán los beneficios percibidos de los vehículos eléctricos, así como la disposición de los conductores a adoptarlos en función de los incentivos disponibles y las garantías de rendimiento y costo.

## **3.3 Procedimiento**

El procedimiento metodológico se organizó en cuatro etapas fundamentales: definición del escenario de estudio, instalación del sistema de monitoreo, recolección de datos operativos y análisis de la información. Estas fases permitieron integrar la obtención de datos reales de campo con la simulación energética y el análisis comparativo entre vehículos a combustión y eléctricos, bajo condiciones reales de operación del servicio de taxi en la ciudad de Ibarra.

### **3.3.1 Instalación de sistemas de monitoreo**

El sistema no fue implementado de forma inmediata, sino que se fue integrando de manera progresiva conforme avanzó la investigación, realizando pruebas previas hasta asegurar su estabilidad en recorridos extensos. La arquitectura adoptada distribuyó las tareas entre dos dispositivos. La Raspberry Pi 4 Model B se empleó para el almacenamiento y gestión de la información generada durante las pruebas, mientras que el Arduino Nano ESP32 asumió la lectura directa de los sensores y la transmisión inicial de datos.



Para la visualización local de variables se incorporó una pantalla Nextion HMI, lo que permitió supervisar ciertos parámetros durante la operación del vehículo. En cuanto al posicionamiento geográfico, se integró un módulo GPS Neo-M8N con antena activa, encargado de registrar las coordenadas del desplazamiento a lo largo de cada jornada de medición. Adicionalmente, se emplearon sensores DHT11, BMP280 y MPU9250, destinados al registro de temperatura, presión atmosférica, humedad y variables de movimiento necesarias para el análisis operativo del vehículo.

### 3.3.2 *Recolección de datos en campo*

La recolección de datos se llevó a cabo mediante el uso combinado de dos sistemas de monitoreo: un GPS comercial Teltonika FMC130 y un módulo GPS autónomo diseñado y ensamblado específicamente para este estudio. Los dos sistemas de monitoreo se colocaron de forma paralela en unidades con distintas dinámicas de operación, incluyendo taxis de circulación continua y taxis que trabajan desde paradas fijas. Esta instalación simultánea permitió contrastar directamente el desempeño del módulo autónomo frente al equipo comercial, verificando la consistencia de los registros generados durante la actividad diaria del servicio.

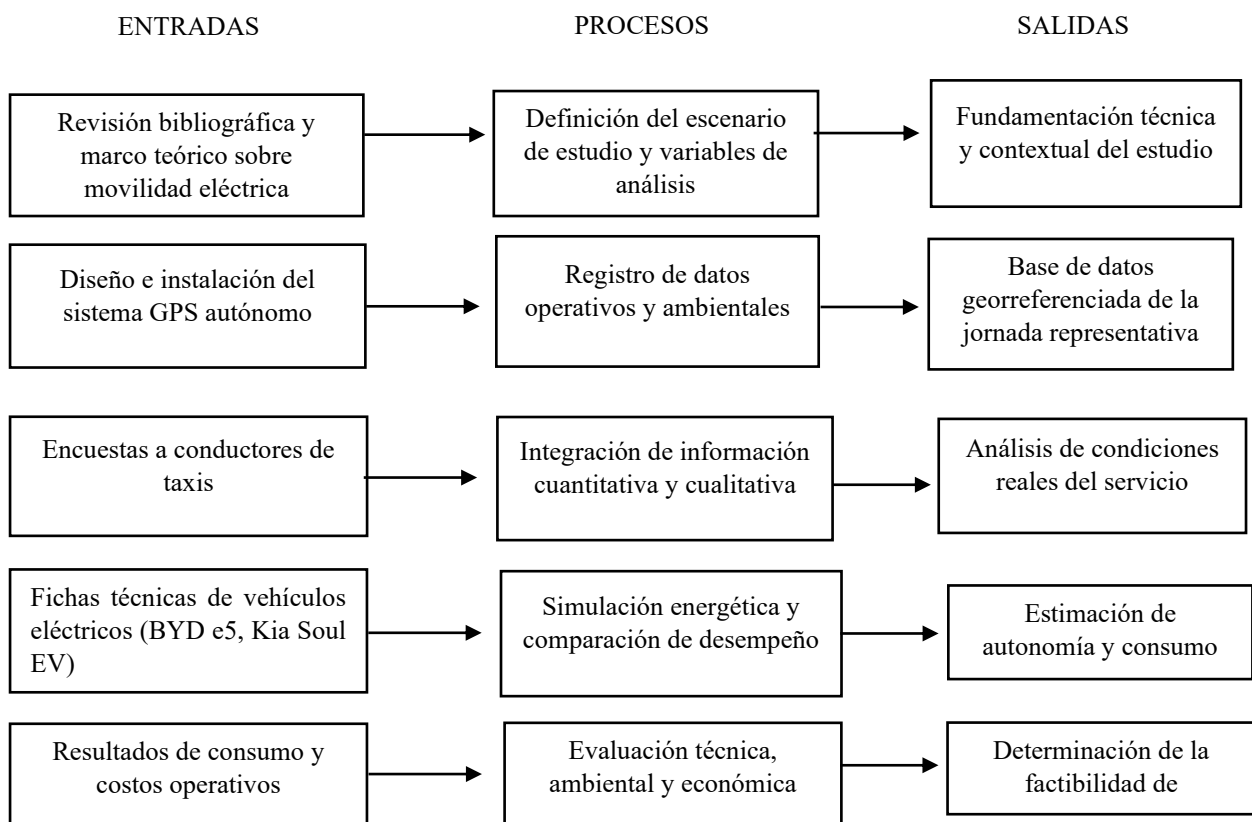
El proceso de medición involucró quince vehículos pertenecientes a cinco cooperativas activas en la ciudad. La selección contempló tres unidades por cada organización, buscando mantener una distribución equilibrada que reflejara diferentes condiciones de trabajo dentro del cantón. En cada unidad, el registro de datos se efectuó durante la jornada completa de trabajo, con el fin de capturar el comportamiento operativo real del servicio de taxi, incluyendo periodos de alta y baja demanda.



### 3.3.3 *Procesamiento y análisis de la información*

Durante el estudio se realizaron actividades orientadas al tratamiento y análisis de la información obtenida mediante los sistemas de monitoreo vehicular instalados. Los registros recopilados en campo fueron organizados y depurados para su posterior procesamiento, considerando jornadas completas de operación del servicio de taxi. Este procedimiento permitió analizar el comportamiento operativo real de las unidades en condiciones habituales de circulación urbana.

Por tal motivo, en la Figura 12 se presenta el diagrama de bloques que resume de manera visual las principales etapas del estudio, desde la recopilación de información bibliográfica y la instalación del sistema GPS autónomo hasta la simulación energética y la evaluación final de la factibilidad técnica, ambiental y económica.



**Figura 12.** Diagrama de bloques que describe las actividades realizadas en el estudio



La aplicación secuencial de las etapas descritas permitió establecer una metodología integral para el análisis de factibilidad de la migración hacia vehículos eléctricos en el sistema de taxis urbanos de la ciudad de Ibarra. A través de este proceso se obtuvo una base de datos confiable, se validaron los registros del sistema GPS autónomo y se realizó un análisis energético basado en datos reales de operación. Los resultados derivados de esta metodología sirvieron como insumo principal para el procesamiento de la información técnica y económica, así como para la elaboración del análisis comparativo que se desarrolla en el capítulo de resultados.

### 3.4 Materiales de campo y softwares

Para llevar a cabo la investigación, se ha seleccionado un conjunto de materiales y softwares que permitan diseñar, recopilar, analizar y validar los datos necesarios.

**Tabla VII**

**Material y software a emplear en la investigación**

| <b>Materiales de campo</b>  | <b>Software</b>                      |
|---|--------------------------------------|
| Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM)                                    | GPS Visualizer                       |
| Arduino Nano ESP32  | Microsoft Excel                      |
| Pantalla táctil Nextion HMI (3.5")                                  | Nextion Editor                       |
| GPS Mini NEO-M8N con antena activa SMA                              | ARDUINO                              |
| Antena activa gps magnética 40dBi, antena GPS Glonass con SMA/Fakra | PuTTY                                |
| Memory Micro TF SD Card Class10 V30 TF Card, 64GB A1                | FileZilla                            |
| Sensor IMU MPU-9250 (9DOF)  | EasyEDA                              |
| Sensor de temperatura y presión BME280                              | Microsoft Forms                      |
| Sensor de Humedad y Temperatura DHT11                               | Seguridad Inteligente<br>Noise store |
| Memory Micro TF SD Card Class10 V30 (64 GB A1)                      | RealVNC Viewer                       |
| Módulo Conmutador YX850   |                                      |
| Regulador de Voltaje LM2596   |                                      |
| Teltonika FMC130  |                                      |

**Fuente:** Elaboración propia



En las siguientes tablas se presenta una descripción detallada de cada material de campo y software empleado, con el objetivo de comprender el propósito específico de cada componente y su contribución al desarrollo del trabajo de grado.

### 3.4.1 *Material de Campo*

#### ***Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM)***

La Raspberry Pi 4 Model B es un computador de placa reducida, ampliamente utilizado en proyectos de electrónica y automatización. Su procesador de cuatro núcleos y memoria RAM de 4GB permiten ejecutar sistemas operativos completos y realizar procesamiento de datos en tiempo real [19].

Este equipo actuará como el núcleo del sistema, encargado de procesar y almacenar los datos provenientes de los sensores y otros dispositivos conectados. Además, controlará la interfaz de usuario y garantizará la correcta operación del sistema.

**Tabla VIII**

**Especificaciones de la Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM)**

| <b>Característica</b>       | <b>Descripción</b>   |
|-----------------------------|--|
| <b>Fabricante</b>           | Raspberry Pi Foundation  |
| <b>Modelo</b>               | Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM)   |
| <b>Procesador</b>           | Broadcom BCM2711, Quad-core Cortex-A72 (ARM v8) de 64 bits, 1.5 GHz            |
| <b>Memoria RAM</b>          | 4GB LPDDR4   |
| <b>Almacenamiento</b>       | MicroSD (soporte para tarjetas hasta 2TB, recomendado UHS-I)                   |
| <b>Puertos USB</b>          | 2 × USB 3.0, 2 × USB 2.0   |
| <b>Conectividad de red</b>  | Gigabit Ethernet, Wi-Fi 802.11ac de doble banda (2.4GHz y 5GHz), Bluetooth 5.0 |
| <b>Salidas de video</b>     | 2 × Micro HDMI (soporta hasta 4K a 60 fps con H.265)                           |
| <b>GPIO</b>                 | 40 pines GPIO para conexión con sensores y módulos externos                    |
| <b>Puertos de expansión</b> | 2 × MIPI DSI/CSI (para pantallas y cámaras)                                    |



|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Consumo de energía</b>         | 600 mA (idle) a 3A (máximo) con fuente de 5V por USB-C   |
| <b>Sistema operativo</b>          | Compatible con Raspberry Pi OS, Ubuntu, y otras distribuciones Linux   |
| <b>Dimensiones</b>                | 85.6 mm × 56.5 mm × 17 mm  |
| <b>Justificación de selección</b> | Se seleccionó la Raspberry Pi 4 Model B debido a su capacidad de procesamiento eficiente y versatilidad para gestionar múltiples sensores. Su conectividad Wi-Fi y Bluetooth facilita la transmisión de datos en tiempo real, y su soporte para múltiples interfaces permite una integración flexible con el sistema de monitoreo. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>     | [20]   |

**Fuente:** Adaptado de [20].

### ***Arduino Nano ESP32***

El Arduino Nano ESP32 es un microcontrolador compacto que incorpora conectividad Wifi y Bluetooth, lo que lo hace adecuado para proyectos de Internet de las Cosas (IoT). Su compatibilidad con múltiples sensores y capacidad de programación flexible lo posicionan como una herramienta fundamental para el desarrollo de sistemas embebidos de adquisición de datos [21]

Este microcontrolador se empleará para conectar los diferentes sensores al sistema, procesando datos en tiempo real y enviándolos a la Raspberry Pi para su análisis.

**Tabla IX**

**Especificaciones del Arduino Nano ESP32**

| <b>Característica</b>             | <b>Descripción</b>                                       |
|-----------------------------------|--|
| <b>Fabricante</b>                 | Arduino  |
| <b>Modelo</b>                     | Arduino Nano ESP32                                       |
| <b>Microcontrolador</b>           | ESP32-S3 (Xtensa LX7 dual-core a 240 MHz)                |
| <b>Memoria RAM</b>                | 512 KB SRAM  |
| <b>Almacenamiento Flash</b>       | 8 MB de almacenamiento Flash                             |
| <b>Wi-Fi</b>                      | IEEE 802.11 b/g/n (2.4 GHz)                              |
| <b>Bluetooth</b>                  | Bluetooth 5.0 LE   |
| <b>Interfaces de comunicación</b> | UART, I2C, SPI, USB-C nativo con soporte HID             |
| <b>GPIO</b>                       | 14 pines digitales, 8 entradas analógicas, 8 salidas PWM |



|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Voltaje de operación</b>       | 3.3V   |
| <b>Corriente máxima de salida</b> | 40 mA por pin GPIO   |
| <b>Consumo de energía</b>         | Bajo consumo, con modo de ahorro de energía  |
| <b>Programación</b>               | Compatible con Arduino IDE y MicroPython   |
| <b>Dimensiones</b>                | 45 mm × 18 mm  |
| <b>Justificación de selección</b> | Se eligió este microcontrolador debido a su potencia de procesamiento y conectividad inalámbrica integrada, lo que permite una comunicación eficiente con los sensores y la Raspberry Pi. Su compatibilidad con múltiples protocolos facilita su integración en el sistema de monitoreo. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>     | [22]   |

Fuente: Adaptado de [22].

### *Pantalla táctil Nextion HMI (3.5")*

Nextion Editor es una plataforma para el diseño y programación de interfaces gráficas para pantallas táctiles Nextion, permitiendo la personalización de la visualización de datos en sistemas embebidos [23]. La pantalla se utilizó como interfaz de usuario, permitiendo al conductor visualizar información relevante sobre el estado del sistema y registrar otros parámetros operativos de manera interactiva.

**Tabla X**

**Especificaciones de la Pantalla Táctil Nextion HMI (3.5")**

| <b>Característica</b>      | <b>Descripción</b>                                   |
|----------------------------|--|
| <b>Fabricante</b>          | Nextion (ITEAD)                                      |
| <b>Modelo</b>              | NX4832T035   |
| <b>Tipo de pantalla</b>    | TFT LCD táctil resistiva                             |
| <b>Tamaño</b>              | 3.5 pulgadas   |
| <b>Resolución</b>          | 480 × 320 píxeles (configurable a 320 × 480)         |
| <b>Colores</b>             | 64K (65,536 colores), formato 16 bits 565 (5R-6G-5B) |
| <b>Área activa (A.A.)</b>  | 73.44 mm (L) × 48.96 mm (A)                          |
| <b>Área visual (V.A.)</b>  | 85.50 mm (L) × 54.94 mm (A)                          |
| <b>Dimensiones totales</b> | 100.5 mm (L) × 54.94 mm (A) × 5.45 mm (H)            |
| <b>Tipo de touch</b>       | Resistivo (durabilidad > 1 millón de toques)         |



|   |   |
|---|---|
| <b>Retroiluminación</b>                 | LED, brillo de 180 nits (ajustable de 0% a 100% en intervalos de 1%)  |
| <b>Vida útil de la retroiluminación</b> | >30,000 horas (promedio)  |
| <b>Memoria Flash</b>                    | 16 MB para almacenamiento de fuentes e imágenes   |
| <b>Memoria RAM</b>                      | 3,584 bytes para variables  |
| <b>Voltaje de operación</b>             | 4.75V – 7V DC (recomendado 5V, 500mA)   |
| <b>Consumo de energía</b>               | 145 mA a 5V con brillo al 100%; 15 mA en modo SLEEP   |
| <b>Interfaz de comunicación</b>         | UART TTL (Baudrate estándar: 2,400 – 115,200 bps)   |
| <b>Slot para tarjeta SD</b>             | Sí, para actualización de firmware y proyectos HMI (soporta microSD hasta 32 GB, formato FAT32)   |
| <b>Temperatura de trabajo</b>           | -20 °C a 70 °C  |
| <b>Temperatura de almacenamiento</b>    | -30 °C a 85 °C  |
| <b>Humedad de trabajo</b>               | 10% – 90% RH a 25 °C  |
| <b>Peso</b>                             | 48.2 g  |
| <b>Certificaciones</b>                  | CE-EMC, RoHS  |
| <b>Justificación de selección</b>       | Esta pantalla se seleccionó por su facilidad de integración y capacidad para mostrar interfaces gráficas personalizadas, lo que mejora la interacción del usuario en el sistema de monitoreo de taxis. Su interfaz UART TTL facilita la comunicación con microcontroladores como el Arduino Nano ESP32 y la Raspberry Pi. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>           | [24]  |

Fuente: Adaptado de [24].

### ***Módulo GPS Mini NEO-M8N***

El módulo GPS Mini NEO-M8N es un receptor GNSS que soporta múltiples constelaciones satelitales (GPS, GLONASS, Galileo), proporcionando alta precisión en la determinación de la posición geográfica. Su antena activa con conector SMA mejora la recepción de señal, fundamental para el seguimiento preciso de vehículos en movimiento [25].

Este módulo se utilizará para obtener datos de ubicación geográfica de alta precisión, incluyendo latitud, longitud, altitud. Su compatibilidad con los sistemas de navegación GPS y



GLONASS garantizará una cobertura y fiabilidad óptimas durante las pruebas en campo, esenciales para el análisis de rutas.

**Tabla XI**

**Especificaciones del Módulo GPS Mini NEO-M8N**

| <b>Característica</b>                        | <b>Descripción</b>  |
|--|---|
| <b>Fabricante</b>                            | u-blox  |
| <b>Modelo</b>                                | NEO-M8N   |
| <b>Tipo de receptor</b>                      | 72 canales, u-blox M8 GNSS  |
| <b>Sistemas GNSS soportados</b>              | GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou   |
| <b>Número de constelaciones concurrentes</b> | Hasta 3 (ejemplo: GPS + Galileo + BeiDou)   |
| <b>Precisión de posicionamiento</b>          | 2.5 m (CEP estándar)  |
| <b>Frecuencia de actualización</b>           | Hasta 10 Hz (2 GNSS concurrentes)   |
| <b>Sensibilidad de navegación</b>            | -167 dBm  |
| <b>Tiempo de arranque (TTFF)</b>             | Frío: 26 s / Aided: 2 s / Caliente: 1 s   |
| <b>Consumo de energía</b>                    | 21 mA a 3.0V (modo continuo), 5.3 mA en modo ahorro (1 Hz)  |
| <b>Voltaje de operación</b>                  | 2.7V – 3.6V   |
| <b>Interfaces de comunicación</b>            | UART, I2C (DDC), SPI, USB 2.0   |
| <b>Temperatura de operación</b>              | -40 °C a 85 °C  |
| <b>Dimensiones</b>                           | 12.2 mm × 16.0 mm × 2.4 mm  |
| <b>Funciones adicionales</b>                 | Detección de interferencias y spoofing, geofencing, odómetro, data logging.   |
| <b>Justificación de selección</b>            | Se eligió este módulo debido a su alta precisión y capacidad para recibir señales de múltiples sistemas GNSS, lo que permite mejorar la cobertura y confiabilidad en entornos urbanos. Su bajo consumo de energía y su compatibilidad con diversas interfaces facilitan su integración en el sistema de monitoreo de taxis. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>                | [25]  |

**Fuente:** Adaptado de [25].

***Antena activa gps magnética 40dBi, antena GPS Glonass con SMA/Fakra***

Estas antenas magnéticas de alta ganancia mejoran significativamente la calidad de la señal GPS/GLONASS, permitiendo una recepción estable en entornos urbanos o con interferencias. Los



conectores SMA y Fakra facilitan la integración con dispositivos GPS comerciales y personalizados[26].

Esta antena, trabaja con el módulo GPS Mini NEO-M8N, mejorando la recepción de señal gracias a su alta ganancia de 40dBi, garantizando una señal estable y precisa durante los desplazamientos.

**Tabla XII**

**Especificaciones de Antena activa gps magnética 40dBi, antena GPS Glonass con SMA/Fakra**

| <b>Característica</b>             | <b>Descripción</b>   |
|-----------------------------------|--|
| <b>Tipo de antena</b>             | Antena activa GNSS (GPS/GLONASS) con base magnética  |
| <b>Frecuencia de operación</b>    | 1575.42 MHz (GPS L1) / 1602 MHz (GLONASS G1)   |
| <b>Ganancia</b>                   | 40 dBi (incluyendo LNA - Low Noise Amplifier)  |
| <b>Figura de ruido</b>            | ≤ 1.5 dB   |
| <b>Voltaje de operación</b>       | 3V - 5V DC (típico: 3.3V)  |
| <b>Consumo de corriente</b>       | 10 mA - 20 mA  |
| <b>Impedancia</b>                 | 50 Ω   |
| <b>Tipo de conector</b>           | SMA macho o Fakra (según versión)  |
| <b>Longitud del cable</b>         | Aproximadamente 3 - 5 metros   |
| <b>Base magnética</b>             | Sí, permite fijación en superficies metálicas para mayor estabilidad   |
| <b>Polarización</b>               | RHCP (Right-Hand Circular Polarization)  |
| <b>Temperatura de operación</b>   | -40 °C a 85 °C   |
| <b>Dimensiones</b>                | Aproximadamente 50 mm × 50 mm × 15 mm  |
| <b>Peso</b>                       | ~150 g   |
| <b>Aplicaciones</b>               | Navegación GPS/GLONASS, telemetría, rastreo vehicular, sistemas de posicionamiento en movilidad  |
| <b>Justificación de selección</b> | Se eligió esta antena debido a su alta ganancia (40 dBi), lo que mejora la recepción de señales GPS y GLONASS, asegurando mayor precisión en el posicionamiento. La base magnética permite fijarla fácilmente en vehículos, y su compatibilidad con el módulo GPS Mini NEO-M8N |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>     | [27]   |

**Fuente:** Adaptado de [27].



### *Memory Micro TF SD Card Class10 V30 TF Card, 64GB A1*

Las tarjetas Micro SD clase 10 y estándar V30 ofrecen alta velocidad de transferencia y capacidad de almacenamiento, esenciales para guardar grandes volúmenes de datos recolectados durante la monitorización continua [28].

Estas tarjetas de memoria serán empleadas para el almacenamiento de datos dentro del sistema. Una tarjeta será utilizada en la Raspberry Pi para almacenar datos y software, mientras que la otra se destinará a la pantalla Nextion para guardar recursos visuales y configuraciones.

**Tabla XIII**

**Especificaciones de la Tarjeta de Memoria Lenovo Thinkplus TF 64GB**

| <b>Característica</b>                | <b>Descripción</b>   |
|--------------------------------------|--|
| <b>Fabricante</b>                    | Lenovo   |
| <b>Modelo</b>                        | Thinkplus TF Memory Card 64GB  |
| <b>Capacidad</b>                     | 64 GB  |
| <b>Clase de velocidad</b>            | Class 10, UHS-I U3, Video Speed Class V30  |
| <b>Rendimiento en aplicaciones</b>   | A1 (optimizado para mejor rendimiento en apps)   |
| <b>Velocidad de lectura</b>          | Hasta 100 MB/s   |
| <b>Velocidad de escritura</b>        | Hasta 40 MB/s  |
| <b>Formato</b>                       | MicroSDXC (TF)   |
| <b>Compatibilidad</b>                | Móviles, cámaras, MP3, MP4, consolas de juegos, altavoces con tarjeta SD, amplificadores, SLR  |
| <b>Temperatura de operación</b>      | -25 °C a 85 °C   |
| <b>Temperatura de almacenamiento</b> | -40 °C a 85 °C   |
| <b>Dimensiones</b>                   | 14.99 mm × 10.92 mm × 1.02 mm  |
| <b>Incluye adaptador SD</b>          | Sí   |
| <b>Características adicionales</b>   | Resistente a golpes y temperatura extrema, ideal para captura de video en Full HD  |
| <b>Justificación de selección</b>    | Se eligió esta tarjeta debido a su alta velocidad de lectura/escritura, asegurando un rendimiento fluido en el almacenamiento y procesamiento de datos en el sistema de monitoreo de taxis eléctricos. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>        | [29]   |

**Fuente:** Adaptado de [29].



### ***Sensor IMU MPU-9250 (9DOF)***

El sensor MPU-9250 es un módulo de nueve grados de libertad que combina acelerómetro, giroscopio y magnetómetro. Este dispositivo permite medir aceleraciones y rotaciones en tres ejes, proporcionando datos precisos para análisis de dinámica vehicular[30].

Este sensor de alta precisión permitirá medir la aceleración, orientación y movimientos del vehículo en los ejes X, Y Z. La información recolectada será útil para evaluar el comportamiento dinámico de los taxis durante las rutas.

**Tabla XIV**

**Especificaciones del Sensor IMU MPU-9250 (9DOF)**

| <b>Característica</b>              | <b>Descripción</b>  |
|------------------------------------|---|
| <b>Fabricante</b>                  | InvenSense (TDK)  |
| <b>Modelo</b>                      | MPU-9250  |
| <b>Tipo de sensor</b>              | IMU (Unidad de Medición Inercial) de 9 grados de libertad (9DOF)  |
| <b>Componentes integrados</b>      | Acelerómetro (3 ejes), Giroscopio (3 ejes), Magnetómetro (3 ejes)   |
| <b>Rango del acelerómetro</b>      | $\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$   |
| <b>Rango del giroscopio</b>        | $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ dps  |
| <b>Rango del magnetómetro</b>      | $\pm 4800 \mu T$  |
| <b>Frecuencia de actualización</b> | Hasta 8 kHz para el giroscopio, 1 kHz para el acelerómetro  |
| <b>Interfaces de comunicación</b>  | I2C (hasta 400 kHz) y SPI (hasta 1 MHz)   |
| <b>Voltaje de operación</b>        | 2.4V – 3.6V (típico 3.3V)   |
| <b>Consumo de energía</b>          | 3.5 mA en modo activo (acelerómetro + giroscopio),<br>9.2 $\mu A$ en modo bajo consumo  |
| <b>Temperatura de operación</b>    | -40 °C a 85 °C  |
| <b>Dimensiones</b>                 | 3 × 3 × 1 mm (chip)   |
| <b>Funciones adicionales</b>       | Fusión de sensores con procesador digital MotionFusion™, filtro de ruido programable  |
| <b>Justificación de selección</b>  | Se eligió este sensor debido a su alta precisión y bajo consumo energético, lo que permite obtener datos confiables sobre la aceleración y orientación del vehículo en tiempo real. Su integración con I2C y SPI facilita la comunicación con microcontroladores como el ESP32 y la Raspberry Pi. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>      | [31]  |

**Fuente:** Adaptado de [31].



### *Sensor de temperatura y presión BME280*

Este módulo recopilará datos ambientales, como la temperatura y la presión barométrica, los cuales serán analizados para determinar su impacto en el consumo de energía de los vehículos.

**Tabla XV**

**Especificaciones del Sensor de Presión y Temperatura BME280**

| Característica                    | Descripción  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Fabricante</b>                 | Bosch Sensortec  |
| <b>Modelo</b>                     | BME280   |
| <b>Tipo de sensor</b>             | Sensor barométrico digital con medición de presión y temperatura   |
| <b>Rango de presión</b>           | 300 hPa a 1100 hPa (equivalente a altitudes de -500 m a 9000 m)  |
| <b>Precisión de presión</b>       | ±1 hPa (modo normal)   |
| <b>Rango de temperatura</b>       | -40 °C a 85 °C   |
| <b>Precisión de temperatura</b>   | ±1.0 °C  |
| <b>Consumo de energía</b>         | 2.7 µA en modo de baja potencia, 714 µA en modo normal   |
| <b>Voltaje de operación</b>       | 1.71V – 3.6V   |
| <b>Interfaces de comunicación</b> | I2C (hasta 3.4 MHz), SPI   |
| <b>Dimensiones</b>                | 2.5 mm × 2.5 mm × 0.93 mm  |
| <b>Funciones adicionales</b>      | Compensación de temperatura y aproximación de la altitud, sensor de bajo consumo para aplicaciones móviles y estaciones meteorológicas.  |
| <b>Justificación de selección</b> | Se eligió este sensor debido a su alta precisión en la medición de presión y temperatura, lo que permite evaluar el impacto de las condiciones ambientales en el consumo energético de los taxis. Su bajo consumo energético y compatibilidad con interfaces estándar lo hacen ideal para la integración en sistemas embebidos como la Raspberry Pi o ESP32. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>     | [32]   |

**Fuente:** Adaptado de [32].

### *Sensor de Humedad y Temperatura DHT11*

El DHT11 es un sensor económico y de fácil uso para medir humedad relativa y temperatura ambiental, utilizado en sistemas de monitoreo para complementar los datos climáticos[33]



Este módulo permitirá recopilar datos ambientales, como la temperatura y la humedad relativa. Estos parámetros serán considerados en el análisis del entorno operativo de los vehículos, con el fin de identificar posibles influencias sobre el rendimiento energético durante las rutas.

**Tabla XVI**

**Especificaciones del Sensor de Temperatura y Humedad DHT11**

| <b>Característica</b>             | <b>Descripción</b>  |
|-----------------------------------|---|
| <b>Fabricante</b>                 | Aosong Electronics  |
| <b>Modelo</b>                     | DHT11   |
| <b>Tipo de sensor</b>             | Sensor digital de temperatura y humedad   |
| <b>Rango de temperatura</b>       | 0 °C a 50 °C  |
| <b>Precisión de temperatura</b>   | ±2.0 °C   |
| <b>Rango de humedad</b>           | 20% a 90% HR (sin condensación)   |
| <b>Precisión de humedad</b>       | ±5% HR  |
| <b>Frecuencia de muestreo</b>     | 1 Hz (una lectura por segundo)  |
| <b>Voltaje de operación</b>       | 3.3V – 5.5V   |
| <b>Consumo de energía</b>         | 0.3 mW (modo de reposo), 2.5 mW (modo activo)   |
| <b>Interfaz de comunicación</b>   | Señal digital de un solo cable (protocolo propio)   |
| <b>Dimensiones</b>                | 15.5 mm × 12 mm × 5.5 mm  |
| <b>Justificación de selección</b> | Este sensor fue elegido por su simplicidad, bajo consumo y capacidad para proporcionar datos básicos de temperatura y humedad necesarios para evaluar condiciones ambientales que podrían influir en el sistema de monitoreo. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>     | [34]  |

**Fuente:** Adaptado de [34].

### ***Regulador de Voltaje LM2596***

El LM2596 es un regulador de voltaje DC-DC tipo Buck que permite reducir eficientemente tensiones superiores a una salida regulada establecida. Es ampliamente utilizado en proyectos electrónicos para suministrar una alimentación estable a dispositivos con diferentes requerimientos de voltaje, destacándose por su alta eficiencia y facilidad de implementación[35]



Este módulo se utilizará para reducir y estabilizar el voltaje de entrada proveniente del sistema de alimentación, garantizando un suministro seguro y constante de energía hacia la Raspberry Pi y el ESP32, protegiendo así los componentes sensibles del sistema.

**Tabla XVII**

**Especificaciones del Regulador de Voltaje LM2596**

| Característica                    | Descripción   |
|-----------------------------------|---|
| <b>Modelo</b>                     | LM2596S DC-DC Buck Converter  |
| <b>Tipo de regulación</b>         | Regulador de voltaje reductor (step-down)   |
| <b>Voltaje de entrada</b>         | 4V – 40V DC   |
| <b>Voltaje de salida</b>          | Ajustable de 1.25V a 35V DC (usualmente fijo a 5V o 3.3V)   |
| <b>Corriente de salida</b>        | Hasta 2A (máx. 3A con disipación)   |
| <b>Frecuencia de conmutación</b>  | ~150 kHz  |
| <b>Eficiencia</b>                 | Hasta 92% (dependiendo de la carga y voltaje)   |
| <b>Protección</b>                 | Protección térmica, contra sobrecarga y cortocircuito   |
| <b>Ajuste de voltaje</b>          | Mediante potenciómetro integrado  |
| <b>Aplicación</b>                 | Regulación de voltaje para Raspberry Pi, ESP32 y sensores.  |
| <b>Justificación de selección</b> | Este regulador asegura una alimentación estable a los dispositivos críticos del sistema, protegiendo contra variaciones de voltaje provenientes de la batería del vehículo. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>     | [36]  |

**Fuente:** Adaptado de [36].

### ***Módulo Conmutador YX850***

El módulo conmutador YX850 es un interruptor electrónico utilizado para controlar el paso de corriente en circuitos de baja potencia. Se emplea en sistemas de control y automatización para activar o desactivar cargas eléctricas, proporcionando una conmutación rápida y segura[37]

Este módulo se utilizará como una fuente de alimentación ininterrumpida (UPS), permitiendo la conmutación automática entre la batería del vehículo y una Power Bank Su función



será mantener la Raspberry Pi encendida de forma continua para evitar la pérdida de datos en caso de interrupción del suministro principal.

**Tabla XVIII**

**Especificaciones del Módulo Conmutador YX850**

| <b>Característica</b>             | <b>Descripción</b>   |
|-----------------------------------|--|
| <b>Tipo de módulo</b>             | Conmutador de energía automática con función UPS   |
| <b>Voltaje de entrada</b>         | 5V DC desde batería externa y POWER bank (dual input)  |
| <b>Voltaje de salida</b>          | 5V DC regulado   |
| <b>Corriente máxima de salida</b> | Hasta 3A   |
| <b>Tipo de conector</b>           | Micro USB / USB tipo A   |
| <b>Función principal</b>          | Conmutación automática entre dos fuentes de energía (batería del vehículo y POWER bank).   |
| <b>Tiempo de conmutación</b>      | Prácticamente inmediato (sin interrupción perceptible para la Raspberry Pi).   |
| <b>Protección</b>                 | Protección contra sobre corriente, sobrevoltaje y cortocircuito.   |
| <b>Compatibilidad</b>             | Raspberry Pi, ESP32, dispositivos 5V   |
| <b>Dimensiones aproximadas</b>    | 65 mm × 20 mm  |
| <b>Justificación de selección</b> | Su capacidad de actuar como UPS lo convierte en un módulo clave para evitar pérdida de datos al mantener alimentada la Raspberry Pi en caso de corte de energía desde la batería del vehículo. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>     | [38]   |

**Fuente:** Adaptado de [38].

### ***Teltonika FMC130***

El Teltonika FMC130 es un dispositivo profesional para rastreo GPS y monitoreo de vehículos en tiempo real, que integra comunicación móvil y almacenamiento local de datos. Es utilizado comúnmente en gestión de flotas para optimizar operaciones logísticas y seguridad vehicular[39].

Este dispositivo será utilizado como herramienta complementaria para la recolección de datos de geolocalización en tiempo real, mediante el sistema proporcionado por la empresa



Seguridad Inteligente Noisestore. Su integración permitirá verificar las rutas y respaldar los datos obtenidos con el GPS autónomo, garantizando mayor confiabilidad en el análisis geográfico.

**Tabla XIX**

**Especificaciones del GPS Teltonika FMC130**

| <b>Característica</b>                   | <b>Descripción</b>   |
|---|--|
| <b>Fabricante</b>                       | Teltonika  |
| <b>Modelo</b>                           | FMC130   |
| <b>Tipo de dispositivo</b>              | Rastreador GPS/GNSS con conectividad LTE Cat M1/NB-IoT y fallback 2G   |
| <b>Sistemas satelitales compatibles</b> | GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou  |
| <b>Interfaces de comunicación</b>       | LTE Cat M1/NB-IoT, GPRS (2G), Bluetooth 4.0  |
| <b>Precisión de posicionamiento</b>     | $\leq 3$ metros  |
| <b>Sensores integrados</b>              | Acelerómetro de 3 ejes para detección de movimiento  |
| <b>Entradas/Salidas</b>                 | 4 entradas digitales, 3 salidas digitales, 1 entrada analógica   |
| <b>Voltaje de operación</b>             | 8V – 30V DC  |
| <b>Batería interna</b>                  | Li-Ion 170 mAh (4.2V) recargable   |
| <b>Funciones adicionales</b>            | Detección de remolque, inmovilización remota, detección de ignición, geocercas, odómetro virtual   |
| <b>Temperatura de operación</b>         | -40 °C a 85 °C   |
| <b>Protección</b>                       | Carcasa resistente IP41, protección contra inversión de polaridad.   |
| <b>Justificación de selección</b>       | Se utilizará este dispositivo como fuente externa de respaldo para la validación de rutas, aprovechando su precisión y conectividad confiable a través del sistema de gestión de flotas ofrecido por Noisestore. |
| <b>Referencia (Datasheet)</b>           | [40]   |

**Fuente:** Adaptado de [40].



### 3.4.2 *Softwares*

#### *GPS Visualizer*

GPS Visualizer es una herramienta web que convierte datos de GPS en mapas y perfiles de elevación interactivos, facilitando la visualización y análisis geoespacial de rutas vehiculares [41].

Esta herramienta permitirá interpretar y representar visualmente las rutas obtenidas por el GPS, facilitando el análisis geográfico y la planificación de rutas.

#### *Microsoft Excel*

Microsoft Excel es un software de hojas de cálculo que permite la organización, análisis estadístico y generación de gráficos para la interpretación de datos recopilados [42].

Esta aplicación será empleada para organizar, procesar y realizar cálculos estadísticos básicos sobre los datos recolectados, además de generar tablas y gráficos descriptivos.

#### *Nextion Editor*

Nextion Editor es una plataforma para el diseño y programación de interfaces gráficas para pantallas táctiles Nextion, permitiendo la personalización de la visualización de datos en sistemas embebidos [43].

Este software será utilizado para diseñar e implementar la interfaz gráfica que se mostrará en la pantalla táctil Nextion. Permite crear menús interactivos y visualizar los datos registrados por el sistema, facilitando la interacción con el usuario.

#### *Arduino IDE*

Arduino Integrated Development Environment (IDE) es un entorno de programación libre que facilita la escritura, compilación y transferencia de código a microcontroladores compatibles con Arduino, incluyendo el ESP32 [44].



Esta plataforma de desarrollo será utilizada para programar y cargar el código en el microcontrolador ESP32, permitiendo la configuración, lectura de sensores y comunicación con otros módulos del sistema.

### ***PuTTY***

PuTTY es un cliente de terminal de código abierto que permite la conexión y administración remota de dispositivos mediante protocolos SSH, Telnet y serial, esencial para la configuración y monitoreo de sistemas embebidos [45].

Este programa se empleará como terminal serial para establecer comunicación directa entre la Raspberry Pi y otros dispositivos, permitiendo el monitoreo en tiempo real y la verificación del funcionamiento del sistema.

### ***FileZilla***

FileZilla es un cliente FTP de código abierto que facilita la transferencia de archivos entre computadoras y servidores remotos, utilizado para la gestión de datos recolectados en sistemas distribuidos [46].

Este cliente FTP será utilizado para transferir archivos entre la Raspberry Pi y una computadora externa. Facilita la copia, respaldo y organización de los datos obtenidos durante las pruebas en campo.

### ***EasyEDA***

EasyEDA es una plataforma en línea para diseño de circuitos electrónicos y PCBs, utilizada en la etapa de fabricación del hardware personalizado del proyecto [47].

Esta herramienta será utilizada para el diseño del esquemático y del circuito impreso (PCB) del sistema. Permite organizar los módulos, sensores y conexiones eléctricas de forma precisa y profesional.



### *Microsoft Forms*

Microsoft Forms es una herramienta de creación de formularios y encuestas digitales que permite la recopilación eficiente de datos cualitativos mediante cuestionarios estructurados[48].

Esta herramienta será utilizada para la elaboración y aplicación de encuestas digitales dirigidas a los conductores de taxis. Su uso permitirá recopilar de forma eficiente información relevante sobre los costos operativos, percepción del cambio tecnológico y condiciones actuales del servicio, facilitando el análisis estadístico de las respuestas en tiempo real.

### *Seguridad Inteligente Noise Store*

Noise Store es una plataforma de monitoreo y gestión de datos GPS en tiempo real utilizada para complementar la recolección de información vehicular, ofreciendo servicios de geolocalización y análisis de movilidad[49].

Este programa se utilizará para monitorear el GPS Teltonika FMC130 y descargar los datos obtenidos del taxi de rutas fijas y así garantizando la precisión y la integridad de la información.

### *RealVNC Viewer*

RealVNC Viewer es un software de acceso remoto que permite la visualización y control de dispositivos conectados en red, facilitando la supervisión y gestión del sistema en tiempo real [50].

Este software será utilizado para acceder de forma remota a la interfaz gráfica de la Raspberry Pi desde otra computadora. Permitirá monitorear, controlar y realizar configuraciones al sistema sin necesidad de conexión física directa, facilitando la supervisión del funcionamiento durante las pruebas en campo.

## **3.5 Fuente de monitoreo y entrevista**

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron dos fuentes principales de información el monitoreo GPS y las entrevistas estructuradas a conductores de taxis.



**Tabla XX**  
**Fuentes de monitoreo y entrevista**

| Fuentes  | Instrumento                           | Información obtenida  |
|--|---------------------------------------|---|
| Cooperativa Pasquel Monge<br>Cooperativa INITITAXI<br>Cooperativa Alpachaca Express S.A.<br>Cooperativa Jose Miguel Leoro V.<br>Cooperativa Cuatroesquinas LTDA. | Sistema GPS autónomo                  | Distancia recorrida, velocidad, altitud, pendiente, variables ambientales                             |
| Sistema GPS autónomo   | Monitoreo vehicular                   | Base de datos principal para análisis energético  |
| Dispositivo Teltonika FMC130   | Monitoreo vehicular                   | Validación de mediciones y coherencia de registros  |
| Conductores de taxis urbanos (grupo focal)   | Encuestas digitales (Microsoft Forms) | Costos operativos, inversión, ingresos, gastos indirectos, horas de trabajo, percepciones y opiniones |

**Fuente:** Elaboración propia.

### ***3.5.1 Encuesta sobre Costos Operativos y Percepciones de Conductores de Taxis***

Esta encuesta tiene como propósito recopilar información sobre los costos operativos, ingresos, gastos indirectos, horarios de trabajo y percepciones de los conductores de taxis. El objetivo es analizar la situación actual del sector y obtener una perspectiva integral sobre las condiciones y desafíos que enfrenta esta modalidad de transporte en la ciudad.

#### **1. Información General**

**¿Es usted propietario del vehículo que conduce o trabaja para otra persona?**

- Propietario
- Trabaja para otra persona

#### **2. Costos Operativos**

Aquí exploraremos los gastos asociados a la operación diaria de su taxi, incluyendo el consumo de combustible, el mantenimiento y otros gastos recurrentes.

**¿Cuánto gasta diariamente en combustible?**

- Entre \$5 y \$10



- Entre \$10 y \$15
- Entre \$15 y \$20
- Entre \$20 y \$25
- Entre \$25 y \$30
- Mas de \$30

**¿Con qué frecuencia realiza el cambio de aceite de su vehículo?**

- Cada 1 mes
- Cada 2 meses
- Cada 3 meses
- Cada vez que sea necesario

**¿Cuánto gasta en promedio en el cambio de aceite de su vehículo?**

- Menos de \$20
- Entre \$20 y \$40
- Entre \$40 y \$60
- Más de \$60

**¿Cuáles son los costos promedio de mantenimiento de su vehículo?**

- Menos de \$50 al mes
- Entre \$50 y \$100 al mes
- Entre \$100 y \$200 al mes
- Más de \$200 al mes

**¿Cuánto gasta anualmente en reparaciones o piezas de repuesto para su vehículo?**

- Menos de \$200
- Entre \$200 y \$400
- Entre \$400 y \$600
- Más de \$600

**¿Cuánto paga en promedio por el mantenimiento que realiza con mayor frecuencia?**

- Menos de \$20
- Entre \$20 y \$50
- Entre \$50 y \$100
- Más de \$100

**¿Cuál de las siguientes opciones considera más costosa en el mantenimiento de su vehículo de combustión?**

- Cambio de aceite
- Reparaciones del sistema de escape
- Cambio de bandas de distribución
- Cambio de bujías
- Cambio de inyectores
- Otros: \_\_\_\_\_

**¿Cuánto paga en promedio por el mantenimiento de la opción más costosa?**

- Menos de \$50



- Entre \$50 y \$100
- Entre \$100 y \$200
- Más de \$200

### 3. Costos de Inversión

En esta sección analizaremos los gastos iniciales relacionados con la adquisición y preparación de su vehículo para el servicio de taxi.

**¿Cuánto fue el costo inicial de adquisición de su vehículo?**

- Menos de \$5,000
- Entre \$5,000 y \$10,000
- Entre \$10,000 y \$20,000
- Más de \$20,000

**¿Qué gastos adicionales realizó para preparar el vehículo para su uso como taxi?**

- Instalación de taxímetro
- Adquisición de permisos
- Equipamiento adicional (seguridad, etc.)
- Otros: \_\_\_\_\_

### 4. Horas de Trabajo

En esta sección se recopilará información sobre las horas promedio trabajadas por los conductores de taxi al día, así como la distribución de su tiempo entre las horas de día y noche.

**¿Cuántas horas trabaja en promedio al día?**

- Menos de 6 horas
- Entre 6 y 8 horas
- Entre 8 y 10 horas
- Más de 10 horas

**¿Cómo distribuye sus horas entre el día y la noche?**

- Solo en el día
- Solo en la noche
- Mayormente en el día
- Mayormente en la noche

### 5. Ingresos

En esta sección se indagará sobre el ingreso promedio generado por su taxi, así como los días más rentables en los que considera que su actividad es más lucrativa.

**¿Cuál es el ingreso promedio generado por su taxi?**

- Menos de \$30 al día
- Entre \$30 y \$50 al día
- Entre \$50 y \$70 al día
- Más de \$70 al día

**¿Qué días considera los más rentables en términos de ingresos?**



- Lunes a viernes
- Solo fines de semana (sábado y domingo)
- Todos los días por igual

## 6. Gastos Indirectos

En esta sección se explorarán los costos adicionales relacionados con la gestión del negocio, como los seguros, permisos, licencias, y otros gastos que no están directamente relacionados con la operación del vehículo, pero que son necesarios para mantener el servicio de taxi.

### ¿Cuáles son los costos relacionados con permisos o licencias requeridos para operar?

- Menos de \$50 al año
- Entre \$50 y \$100 al año
- Entre \$100 y \$200 al año
- Más de \$200 al año

### ¿En qué otros aspectos deben invertir, como seguros o contribuciones a la cooperativa?

- Seguro vehicular
- Contribuciones a la cooperativa
- Mantenimiento de vehículos
- Otros: \_\_\_\_\_

## 7. Percepciones y Opiniones

En esta sección se indagará sobre las opiniones y actitudes de los conductores respecto a la incorporación de vehículos eléctricos en el servicio de taxis, considerando los beneficios percibidos, las posibles limitaciones y las principales inquietudes asociadas a este tipo de tecnología

### ¿Qué opina sobre la posible implementación de VHE en el servicio de taxis?

- Muy favorable
- Algo favorable
- Neutral
- Algo desfavorable
- Muy desfavorable

### ¿Qué beneficios o desventajas percibe al cambiar a un vehículo eléctrico?

#### Beneficios:

- Menores costos operativos
- Menos impacto ambiental
- Mayor eficiencia
- Otros: \_\_\_\_\_

### ¿Qué desventajas percibe al cambiar a un vehículo eléctrico?

#### Desventajas:

- Autonomía limitada
- Mayor costo inicial



- Puntos de carga insuficientes
- Otros: \_\_\_\_\_

**¿Cree que los vehículos eléctricos son viables para las rutas que opera actualmente?**

- Sí
- No
- No estoy seguro

**Ha considerado alguna vez cambiar su vehículo a uno eléctrico?**

- Sí, lo he considerado seriamente
- Sí, pero no estoy seguro aún
- No, no lo he considerado
- No, y no tengo interés

**¿Porque ha considerado esta decisión?**

Escriba su respuesta \_\_\_\_\_

**¿Qué incentivos serían necesarios para que se decida por un vehículo eléctrico?**

- Subsidios o incentivos fiscales
- Reducción en el costo inicial de compra
- Puntos de carga más accesibles
- Garantía de menor costo de mantenimiento
- Otros: \_\_\_\_\_

**¿Consideraría cambiar a un vehículo eléctrico si tuviera garantías sobre su rendimiento y costos operativos?**

- Sí, lo consideraría seriamente
- Sí, pero dependería del costo inicial
- No estoy seguro, necesitaría más información
- No, no lo consideraría

**¿Cree que el gobierno o las cooperativas deberían ofrecer incentivos para facilitar la transición a vehículos eléctricos?**

- Sí, definitivamente
- Sí, pero solo si hay pruebas de su viabilidad
- No estoy seguro
- No, no lo creo necesario

### **3.6 Periodo de tiempo de recolección de datos**

El periodo de recolección de datos se definió en función de la disponibilidad operativa de los vehículos y de la necesidad de capturar condiciones reales de conducción en la ciudad de Ibarra. La información se obtuvo en distintas fechas, priorizando jornadas completas de servicio para



reflejar el comportamiento real del taxi durante su operación diaria. El registro continuo mediante los dispositivos GPS permitió contar con trazas detalladas del desplazamiento diario de las unidades, evitando estimaciones teóricas o simuladas.

Con base en esos registros se examinó el comportamiento operativo de cada jornada y se identificaron similitudes en los patrones de uso. A partir de este contraste se seleccionó un día de operación que representara de manera adecuada el desempeño habitual del servicio. Dicha jornada fue utilizada como referencia para el procesamiento de variables operativas como distancia recorrida, velocidad, altitud y pendiente, permitiendo describir el desempeño del taxi bajo condiciones habituales de circulación urbana

### **3.7 Población y Muestra**

La población de referencia estuvo compuesta por el total de taxis registrados en la ciudad de Ibarra, pertenecientes a cooperativas convencionales y ejecutivas que prestan el servicio de transporte urbano. Dado que no fue posible trabajar con la totalidad de la población, para efectos del estudio se adoptó un enfoque representativo, seleccionando una muestra de unidades vehiculares en función de su disponibilidad operativa y la disposición de los conductores para participar en el proceso de monitoreo.

La muestra estuvo integrada por quince unidades de taxi pertenecientes a cinco cooperativas de la ciudad de Ibarra, seleccionándose tres vehículos por cooperativa. Las mediciones no se concentraron en un único día, sino que se distribuyeron en diferentes momentos, siempre considerando jornadas completas de trabajo. Esto permitió observar el funcionamiento del servicio bajo escenarios cotidianos y no bajo condiciones aisladas.

Posteriormente, se seleccionó una jornada representativa que sirvió como base para el análisis técnico, incluyendo la evaluación de variables operativas y de consumo energético. De



forma adicional, se aplicaron encuestas a conductores de distintas cooperativas con el propósito de incorporar información cualitativa relacionada con costos, percepción del servicio y aspectos económicos vinculados a la actividad diaria.

### **3.7.1 Justificación de la muestra**

La selección de la muestra respondió a un criterio de representatividad operativa, priorizando la obtención de datos reales y consistentes del servicio de taxi urbano en la ciudad de Ibarra. La muestra incluyó quince unidades de taxi distribuidas en cinco cooperativas de la ciudad de Ibarra, lo que permitió considerar diferentes formas de operación sin generar un volumen excesivo de información. La selección de estas unidades facilitó el registro de recorridos variados y condiciones reales de trabajo del servicio de taxi urbano.

El monitoreo se efectuó durante jornadas completas en distintas fechas, permitiendo identificar un comportamiento operativo recurrente que fue utilizado como referencia para el análisis técnico. Adicionalmente, la aplicación de encuestas a conductores aportó información complementaria sobre aspectos económicos y operativos, lo que contribuyó a contextualizar los resultados obtenidos a partir del monitoreo vehicular.



## **CAPITULO 4**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la fabricación, implementación y evaluación operativa del sistema de monitoreo GPS autónomo, desarrollado para registrar parámetros operativos y ambientales de los taxis que prestan servicio en la ciudad de Ibarra. Este sistema fue construido como una herramienta técnica para obtener datos reales de operación y servir de base para el análisis de factibilidad de la migración del servicio de taxis hacia vehículos eléctricos.

En este apartado se expuso el proceso de construcción y ensamblaje del dispositivo de monitoreo, describiendo los componentes electrónicos utilizados, el esquema general de conexiones, el sistema de alimentación con respaldo energético y el procedimiento de instalación en las unidades vehiculares. Posteriormente, se presentaron los resultados obtenidos durante la etapa de recolección de datos en campo, correspondientes a jornadas completas de trabajo desarrolladas bajo condiciones reales de operación del servicio de taxi urbano.

A partir de los datos recopilados se contrastó el desempeño de vehículos de combustión interna frente a alternativas eléctricas. El análisis consideró variables como el consumo energético, la autonomía estimada, los costos de operación y el comportamiento de las unidades bajo condiciones reales de servicio.

Además del tratamiento técnico de la información, se incorporaron los resultados de las encuestas realizadas a los conductores. Estos aportes permitieron contextualizar el estudio desde una perspectiva económica y social, integrando aspectos vinculados a la experiencia diaria del servicio de taxi.



Asimismo, se presentan los resultados gráficos y estadísticos derivados del procesamiento de los datos recopilados, los cuales sirvieron de base para la interpretación de los resultados y la formulación de conclusiones parciales sobre la viabilidad técnica, ambiental y económica de la implementación de taxis eléctricos en la ciudad de Ibarra.

## **4.1 Fabricación del GPS Autónomo**

### **4.1.1 Descripción general del sistema**

El sistema GPS autónomo fue diseñado como una herramienta de monitoreo vehicular destinada a la recolección de datos operativos en taxis convencionales de la ciudad de Ibarra. Su desarrollo respondió a la necesidad de obtener mediciones de alta resolución temporal, ya que los dispositivos comerciales disponibles presentaban intervalos de registro  $\geq 5$  segundos, generando un margen de error considerable en la reconstrucción de trayectorias.

Con el propósito de aumentar la precisión de los datos obtenidos, se optó por incorporar almacenamiento interno y reducir el intervalo de muestreo a 2 segundos. Esta decisión permitió registrar con mayor detalle los cambios de velocidad, altitud y pendiente presentes en los recorridos urbanos, generando una secuencia de datos más continua durante cada jornada de trabajo.

La información generada con este sistema permitió conformar una base de datos utilizada posteriormente en el análisis técnico de la movilidad eléctrica. En particular, se utilizó para evaluar el comportamiento estimado de la autonomía de las baterías cuando se proyecta su funcionamiento en escenarios reales de circulación dentro de la ciudad. La arquitectura del dispositivo estuvo conformada por una Raspberry Pi 4 Model B como unidad de procesamiento y un Arduino Nano ESP32 para la adquisición de datos, complementados con un módulo GPS Neo-M8N, una pantalla Nextion HMI y sensores ambientales de temperatura, humedad y presión.



### *Componentes integrados y distribución interna*

Aunque en el Capítulo 3 se describieron los componentes del sistema GPS autónomo como parte del diseño metodológico, en esta sección se detalla su integración práctica, la distribución física en el prototipo final y el rol que desempeña cada elemento dentro del sistema de monitoreo. Esta descripción es esencial para comprender la arquitectura funcional del dispositivo y su operación estable en condiciones reales.

**Tabla XXI**

**Componentes principales del sistema GPS autónomo y sus funciones**

| Componente                            | Descripción y Función Principal  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Arduino Nano ESP32</b>             | Unidad principal de adquisición y gestión de datos. Todos los sensores y la pantalla Nextion están conectados a este microcontrolador. Lee variables físicas (ubicación, aceleración, presión, temperatura y humedad) y las envía a la Raspberry Pi por comunicación serial (USB).   |
| <b>Raspberry Pi 4 Model B</b>         | Unidad encargada del procesamiento y almacenamiento de la información generada durante las pruebas. En esta placa se encuentra instalada la microSD para el resguardo de datos, además de un ventilador de 5 V destinado a la refrigeración. La comunicación con el Arduino ESP32 se realiza mediante conexión USB. No interactúa directamente con los sensores, ya que su función principal consiste en centralizar y organizar los registros obtenidos por el sistema. |
| <b>Pantalla táctil Nextion (3.5")</b> | Dispositivo de visualización conectado al ESP32 a través de comunicación UART. Permite mostrar en tiempo real los valores capturados por los sensores y ofrece una interfaz para que el conductor registre el valor económico correspondiente a cada recarga de combustible durante el periodo de pruebas.   |
| <b>Módulo GPS NEO-M8N</b>             | Proporciona datos de latitud, longitud, altitud y velocidad. Es clave para analizar el comportamiento energético del vehículo en distintas rutas y zonas geográficas de Ibarra.  |
| <b>Sensor DHT11</b>                   | Mide temperatura y humedad ambiental. Aporta datos relevantes para interpretar el desempeño del vehículo bajo distintas condiciones climáticas.  |



|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Sensor barométrico BMP280</b> | Registra presión atmosférica y temperatura adicional. Registra presión atmosférica y temperatura ambiente, utilizadas para el análisis altimétrico y climático del recorrido   |
| <b>Sensor inercial MPU-9250</b>  | Unidad de medición inercial de 9 ejes que registra aceleraciones y movimientos en los ejes X, Y y Z del vehículo.  |
| <b>Módulo microSD</b>            | Dispositivo de almacenamiento local instalado en la Raspberry Pi para el resguardo de los datos obtenidos durante las pruebas en campo.  |
| <b>Regulador LM2596</b>          | Encargado de regular el voltaje de entrada de 12 V a una salida estable de 5 V. Alimenta la Raspberry Pi y otros componentes sensibles. Es un módulo step-down confiable y eficiente.  |
| <b>Módulo conmutador YX850</b>   | Permite seleccionar entre la batería del vehículo y una batería secundaria de 12 V–4 A. Garantiza alimentación continua. Tiene conectados en la salida dos condensadores (1500 $\mu$ F y 0.1 $\mu$ F) que estabilizan la tensión y previenen micro cortes que podrían afectar a la Raspberry Pi. |
| <b>Ventilador de 5 V</b>         | Elemento conectado a la Raspberry Pi destinado a la refrigeración activa del sistema durante su operación.   |

**Fuente:** Elaboración propia.

Los componentes fueron dispuestos dentro de una carcasa de acrílico de 3 mm de espesor, la cual proporciona protección mecánica y soporte estructural al sistema. La carcasa cuenta con aberturas que facilitan la circulación del aire generado por el ventilador, permitiendo la disipación térmica de los dispositivos electrónicos. La distribución interna del sistema prioriza la estabilidad de las conexiones eléctricas, la ventilación y la modularidad, permitiendo ajustes y mantenimiento eficiente en caso de ser necesario.

### ***Esquema de conexiones***

Esta sección presenta la descripción del conexionado general del sistema GPS autónomo. Se han implementado conexiones digitales tanto para adquisición de datos como para alimentación. El diseño se dividió en dos partes: una tarjeta baquelita fabricada para los sensores conectados al



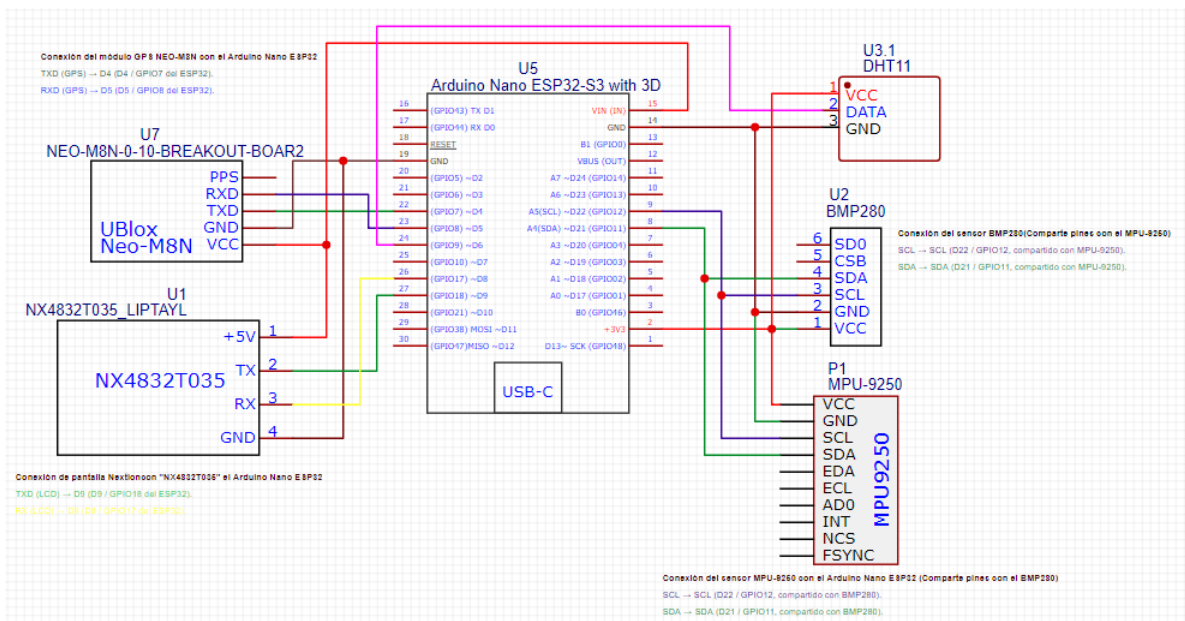
Arduino Nano ESP32, y un sistema de alimentación externa ensamblado por cableado modular para facilitar el mantenimiento.

**Conexiones electrónicas del sistema**

El microcontrolador Arduino Nano ESP32 centraliza la lectura de todos los sensores y la comunicación con la pantalla Nextion. Está conectado a:

- Sensor de temperatura y humedad DHT11 (Pin digital 6)
- Sensor de presión y temperatura BMP280 (comunicación I2C: SDA, SCL)
- Unidad de medición inercial MPU9250 (comunicación I2C: SDA, SCL)
- Módulo GPS NEO-M8N (UART: RXD pin 4, TXD pin 5)
- Pantalla táctil Nextion (UART: TX pin 9, RX pin 8)

La comunicación con la Raspberry Pi se realiza mediante un puerto USB, que permite enviar los datos recopilados en formato JSON. La Raspberry Pi se encarga del almacenamiento de datos en la tarjeta microSD y de la ventilación por medio de un ventilador de 5 V.



**Figura 13.** Representación esquemática de la interconexión entre sensores y el módulo Arduino Nano ESP32.

**Fuente:** Diseño propio elaborado a partir del software EasyEDA.



**Tabla XXII**

**Conexiones de Sensores**

| <b>Módulo / Sensor</b> | <b>Protocolo</b> | <b>Pin Arduino Nano ESP32</b> | <b>Observaciones</b>                      |
|------------------------|------------------|-------------------------------|---|
| DHT11                  | Digital          | D6                            | Datos de temperatura y humedad            |
| BMP280                 | I2C              | SDA, SCL (D21, D22)           | Presión y altitud                         |
| MPU9250                | I2C              | SDA, SCL (D21, D22)           | Acelerómetro, giroscopio y magnetómetro   |
| GPS NEO-M8N            | UART             | RXD = D4, TXD = D5            | Posición geográfica y velocidad           |
| Pantalla Nextion       | UART             | TX = D9, RX = D8              | Visualización e ingreso de datos manuales |
| Raspberry Pi           | USB              | Puerto USB principal          | Comunicación serial JSON                  |

**Fuente:** Elaboración propia.

***Sistema de alimentación***

El sistema de alimentación del GPS autónomo fue diseñado para garantizar estabilidad y continuidad energética en condiciones variables, como arranque del vehículo o cambio de fuente de energía. La estructura se compone de dos fuentes de entrada: la batería del vehículo (12 V) y una batería secundaria de 12 V 4 A, conectadas al módulo conmutador YX850. Este módulo selecciona automáticamente la fuente activa, funcionando como un sistema de respaldo tipo UPS.

Para mejorar la estabilidad eléctrica, se colocaron en la salida del conmutador dos condensadores en paralelo:

**Tabla XXIII**

**Funciones técnicas de los condensadores empleados para estabilización y filtrado**

| <b>Condensador</b>                | <b>Ubicación</b>                         | <b>Función principal</b>   | <b>Protege a...</b>           |
|-----------------------------------|--|--|-------------------------------|
| Electrolítico 1500 $\mu$ F / 16 V | A la salida del YX850 y antes del LM2596 | Estabiliza el voltaje ante microcaídas, transiciones o encendido de dispositivos de alto consumo momentáneo. | Raspberry Pi, pantalla, ESP32 |
| Cerámico 0.1 $\mu$ F (104)        | En paralelo al condensador electrolítico | Filtra ruido de alta frecuencia e interferencias que podrían afectar componentes sensibles.                  | Sensores, microcontrol        |

**Fuente:** Elaboración propia.



Con el objetivo de asegurar una transición energética estable al momento de conmutar entre fuentes de alimentación, se seleccionó un condensador electrolítico de 1500  $\mu\text{F}$  y 16 V, ubicado en la salida del módulo conmutador YX850. Este valor fue determinado considerando la fórmula general de almacenamiento de energía para estabilización temporal ante caídas momentáneas de voltaje, expresada como:

$$C = \frac{I * \Delta t}{\Delta V}$$

Donde:

- C es la capacitancia en faradios.
- I es la corriente de consumo del sistema (1.3A).
- $\Delta t$  es el tiempo estimado de caída breve que se desea amortiguar (0.01 s).
- $\Delta V$  es la tolerancia máxima en caída de voltaje permitida (1V).

$$C = \frac{1.3 * 0.01}{1} = 0.013 F = 13,000 \mu F$$

No obstante, el valor teórico de 13 000  $\mu\text{F}$  implicaría el uso de un componente de dimensiones considerablemente mayores. Por tal motivo, se adoptó un compromiso técnico entre tamaño físico, disponibilidad comercial y nivel de amortiguación requerido. El valor seleccionado de 1500  $\mu\text{F}$ , si bien es inferior al valor teórico calculado, resultó suficiente para amortiguar microcaídas de tensión asociadas al encendido y funcionamiento de dispositivos como la Raspberry Pi o la pantalla táctil, reduciendo la probabilidad de reinicios inesperados o posibles pérdidas de datos. Este valor es comúnmente empleado en sistemas embebidos que operan con cargas de hasta 2 A, y ha demostrado ser funcional en pruebas de laboratorio y campo.

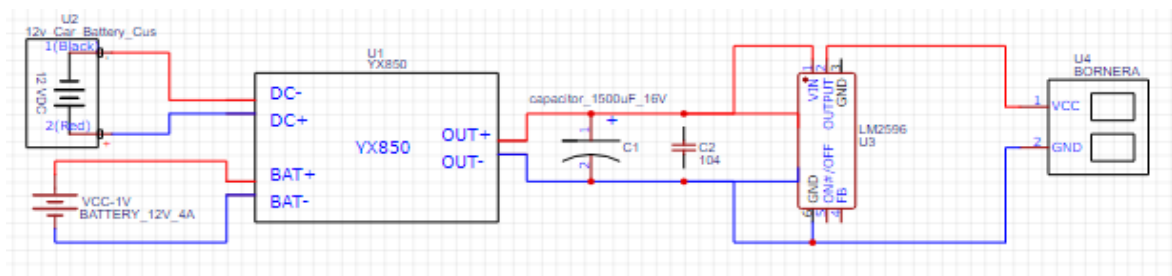
Por su parte, el condensador cerámico de 0.1  $\mu\text{F}$  (código 104) se incorporó en paralelo con el condensador electrolítico para el filtrado de componentes de alta frecuencia presentes en la línea



de alimentación, asociadas a conmutaciones rápidas de los reguladores o interferencias electromagnéticas.

Posteriormente, la energía fue suministrada a un regulador de voltaje LM2596, configurado para entregar una salida estable de 5 V DC destinada a la alimentación de la Raspberry Pi 4 mediante un cable tipo C. Considerando un consumo aproximado del sistema de 1.3 A, se verificó que los elementos del sistema de alimentación cumplan con los valores nominales de corriente y voltaje requeridos para una operación continua.

Además, se instaló un ventilador de 5 V conectado directamente a la Raspberry Pi para la disipación térmica durante la operación prolongada del sistema.



**Figura 14.** Esquema del sistema de alimentación (alimentación dual, regulación, estabilización).

#### 4.1.2 Montaje físico del sistema

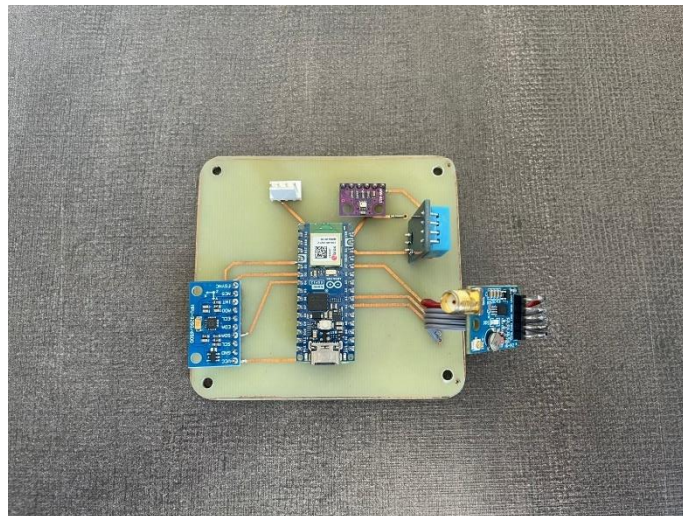
En esta sección se documenta el ensamblaje final del sistema GPS autónomo. Todos los componentes electrónicos fueron organizados dentro de una carcasa fabricada en acrílico de 3 mm de grosor, diseñada para permitir una adecuada ventilación y protección mecánica.

La baquelita, fabricada a partir del esquemático en EasyEDA, alberga exclusivamente las conexiones entre el Arduino Nano ESP32 y los sensores ambientales (DHT11, BMP280, MPU9250, GPS y pantalla Nextion), facilitando una conexión limpia, modular y segura.



**Figura 15.** Vista general del sistema GPS autónomo ensamblado dentro de la carcasa acrílica.

Esta imagen muestra la integración de todos los componentes dentro de una estructura de acrílico de 3 mm de grosor. Se observa la disposición organizada del ventilador, la Raspberry Pi, el cableado y la salida del cable tipo C desde el LM2596. Además, se dejaron perforaciones para favorecer el flujo de aire hacia la Raspberry.



**Figura 16.** Vista superior del circuito de sensores fabricado en baquelita.

La placa baquelita fue diseñada a partir del esquemático generado en EasyEDA. En ella se integran todos los sensores conectados al Arduino Nano ESP32, lo que permite un montaje ordenado, compacto y de fácil mantenimiento. Las conexiones se realizaron mediante pistas conductoras, evitando el uso excesivo de cables.



### 4.1.3 Montaje en el vehículo

Para la integración del sistema GPS autónomo en el vehículo de pruebas, se realizó un montaje cuidadoso que garantizara tanto la funcionalidad como la seguridad del dispositivo. La alimentación principal se conectó directamente a la batería del vehículo mediante un fusible de 5 A, instalado lo más próximo posible al borne positivo, con el propósito de proteger el sistema ante cortocircuitos o sobre corrientes. Los conductores utilizados fueron cables concéntricos de tipo 2×18 AWG, seleccionados por su capacidad de conducción de corriente y su resistencia a caídas de tensión durante el funcionamiento prolongado.

La antena del sensor GPS fue ubicada mediante fijación magnética sobre el chasis del vehículo, con el fin de optimizar la recepción de señales satelitales (GPS y GLONASS). Los demás sensores fueron instalados dentro de la carcasa, evitando obstrucciones que pudieran afectar su correcto funcionamiento.

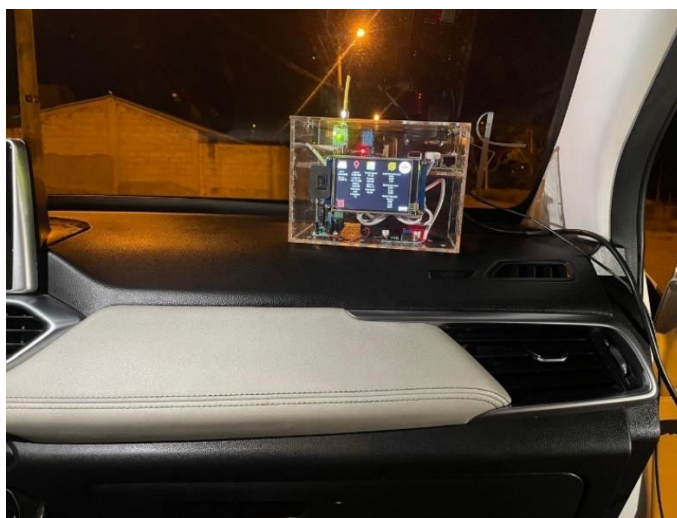
En una fase inicial se consideró la instalación del sistema en el interior de la guantera del vehículo, debido a su accesibilidad y nivel de protección. No obstante, durante las pruebas se constató que en varios modelos de taxis las guanteras presentaban dimensiones reducidas, lo que dificultaba el alojamiento adecuado del módulo completo. Adicionalmente, algunos conductores manifestaron preocupación por la visibilidad del dispositivo y el riesgo potencial de robo, principalmente debido a la presencia de la pantalla Nextion y la carcasa acrílica original, las cuales resultaban llamativas.

Durante la etapa de implementación fue necesario ajustar el diseño inicial del sistema. La carcasa original de acrílico se reemplazó por una estructura de madera de menores dimensiones, lo que permitió facilitar su instalación en distintos modelos de taxi. Asimismo, se decidió retirar la pantalla Nextion en la versión definitiva, ya que el registro del valor de recarga de combustible se



realizó posteriormente mediante encuestas, eliminando la necesidad de visualización directa en el vehículo.

En varias unidades el módulo se colocó bajo el asiento del conductor, logrando una instalación discreta y reduciendo la exposición del dispositivo. Esta ubicación favoreció su ocultamiento sin afectar el funcionamiento normal del vehículo durante la jornada de trabajo. En otros casos, el módulo fue instalado en el compartimento del motor, específicamente en la zona del capó, empleando fijaciones mecánicas y protecciones adecuadas para su sujeción y resguardo frente a vibraciones, humedad y temperatura, manteniendo la funcionalidad del sistema durante las jornadas completas de trabajo.



**Figura 17.** Prototipo inicial del sistema GPS autónomo instalado en el vehículo durante la fase preliminar de pruebas.

Vista del sistema durante las pruebas preliminares, ubicado sobre el tablero del vehículo y equipado con carcasa acrílica y pantalla Nextion, previo a la modificación del diseño final.



**Figura 18.** Carcasa final del sistema GPS autónomo fuera del vehículo.

Estructura fabricada en madera y de menor tamaño, correspondiente a la versión final del sistema, sin incorporación de pantalla táctil.



**Figura 19.** Ubicación del sistema GPS autónomo bajo el asiento del conductor

Disposición del sistema dentro del vehículo durante una jornada de operación, instalado debajo del asiento del conductor como parte de la configuración definitiva.



**Figura 20.** Montaje del sistema GPS autónomo en el compartimento del motor (capó)

La imagen muestra la instalación del sistema en la zona del capó del vehículo, evidenciando la fijación segura del equipo y su integración directa con la batería, manteniendo condiciones adecuadas de funcionamiento y protección durante la operación..

#### ***4.1.4 Pruebas preliminares de funcionamiento***

Antes de iniciar la recolección de datos en campo, se realizaron pruebas preliminares con el objetivo de verificar el funcionamiento general del sistema GPS autónomo. Estas pruebas se enfocaron en validar la operatividad de los sensores, la comunicación entre los distintos módulos, la integridad de la alimentación eléctrica y la estabilidad del sistema durante periodos continuos de operación.

**Las pruebas se dividieron en tres fases:**

##### ***Verificación de encendido y alimentación continua***

Se encendió el sistema conectado únicamente a la batería del vehículo y luego exclusivamente a la batería de respaldo. En ambos casos, se observó una alimentación estable, sin reinicios del sistema ni pérdida de datos, confirmando el correcto funcionamiento del módulo conmutador YX850 y la estabilidad proporcionada por los condensadores en paralelo.

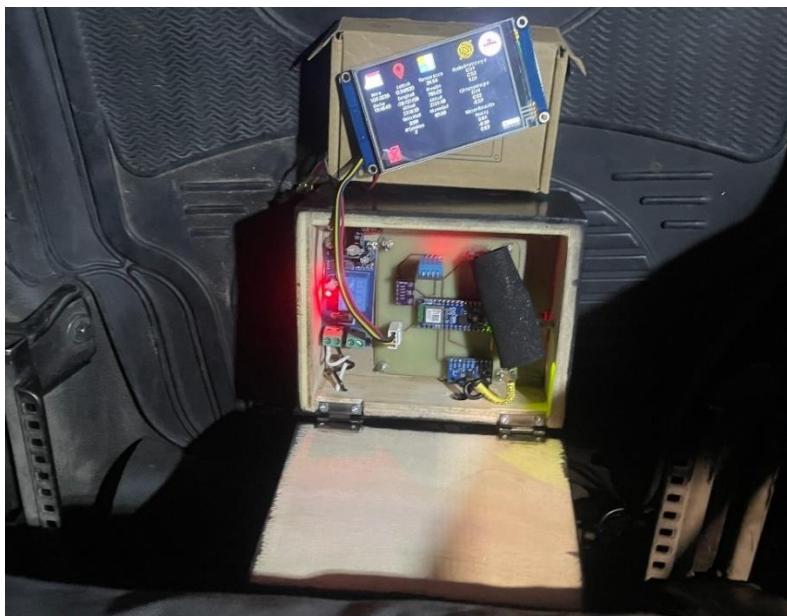


### *Lectura de sensores y visualización en pantalla*

Durante esta etapa preliminar, se comprobó en tiempo real la correcta recepción de datos provenientes de los sensores DHT11, BMP280, MPU9250 y del módulo GPS. Los valores fueron visualizados temporalmente mediante una pantalla Nextion, utilizada únicamente para fines de verificación inicial. Asimismo, se generaron paquetes de datos en formato JSON, los cuales fueron transmitidos a la Raspberry Pi a través de una conexión USB.

### *Prueba de comunicación y ventilación*

La Raspberry Pi recibió los datos sin pérdida de información, verificándose que el puerto serie USB se encontraba correctamente configurado. Adicionalmente, se monitoreó la temperatura del equipo durante aproximadamente cuatro horas de operación continua. Gracias al uso de un ventilador de 5 V y a las perforaciones realizadas en la carcasa, la temperatura se mantuvo dentro de rangos adecuados de funcionamiento (por debajo de 55 °C), confirmando la eficacia del sistema de disipación térmica.



**Figura 21.** Sistema GPS autónomo en operación durante las pruebas preliminares.



Se observa la activación del equipo y la visualización de datos en la pantalla Nextion mientras se valida el suministro eléctrico y el comportamiento general del prototipo.

| A1     | A2     | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      | I      | J      | K      | L      | M      | N      | O      | P      | Q      |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 | mpu250 |
| 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     |
| 18     | 19     | 20     | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     | 29     | 30     | 31     | 32     | 33     | 34     | 35     |
| 36     | 37     | 38     | 39     | 40     | 41     | 42     | 43     | 44     | 45     | 46     | 47     | 48     | 49     | 50     | 51     | 52     | 53     |
| 54     | 55     | 56     | 57     | 58     | 59     | 60     | 61     | 62     | 63     | 64     | 65     | 66     | 67     | 68     | 69     | 70     | 71     |
| 72     | 73     | 74     | 75     | 76     | 77     | 78     | 79     | 80     | 81     | 82     | 83     | 84     | 85     | 86     | 87     | 88     | 89     |
| 90     | 91     | 92     | 93     | 94     | 95     | 96     | 97     | 98     | 99     | 100    | 101    | 102    | 103    | 104    | 105    | 106    | 107    |
| 108    | 109    | 110    | 111    | 112    | 113    | 114    | 115    | 116    | 117    | 118    | 119    | 120    | 121    | 122    | 123    | 124    | 125    |
| 126    | 127    | 128    | 129    | 130    | 131    | 132    | 133    | 134    | 135    | 136    | 137    | 138    | 139    | 140    | 141    | 142    | 143    |
| 144    | 145    | 146    | 147    | 148    | 149    | 150    | 151    | 152    | 153    | 154    | 155    | 156    | 157    | 158    | 159    | 160    | 161    |
| 162    | 163    | 164    | 165    | 166    | 167    | 168    | 169    | 170    | 171    | 172    | 173    | 174    | 175    | 176    | 177    | 178    | 179    |
| 180    | 181    | 182    | 183    | 184    | 185    | 186    | 187    | 188    | 189    | 190    | 191    | 192    | 193    | 194    | 195    | 196    | 197    |
| 198    | 199    | 200    | 201    | 202    | 203    | 204    | 205    | 206    | 207    | 208    | 209    | 210    | 211    | 212    | 213    | 214    | 215    |
| 216    | 217    | 218    | 219    | 220    | 221    | 222    | 223    | 224    | 225    | 226    | 227    | 228    | 229    | 230    | 231    | 232    | 233    |
| 234    | 235    | 236    | 237    | 238    | 239    | 240    | 241    | 242    | 243    | 244    | 245    | 246    | 247    | 248    | 249    | 250    | 251    |
| 252    | 253    | 254    | 255    | 256    | 257    | 258    | 259    | 260    | 261    | 262    | 263    | 264    | 265    | 266    | 267    | 268    | 269    |
| 270    | 271    | 272    | 273    | 274    | 275    | 276    | 277    | 278    | 279    | 280    | 281    | 282    | 283    | 284    | 285    | 286    | 287    |
| 288    | 289    | 290    | 291    | 292    | 293    | 294    | 295    | 296    | 297    | 298    | 299    | 300    | 301    | 302    | 303    | 304    | 305    |
| 306    | 307    | 308    | 309    | 310    | 311    | 312    | 313    | 314    | 315    | 316    | 317    | 318    | 319    | 320    | 321    | 322    | 323    |
| 324    | 325    | 326    | 327    | 328    | 329    | 330    | 331    | 332    | 333    | 334    | 335    | 336    | 337    | 338    | 339    | 340    | 341    |
| 342    | 343    | 344    | 345    | 346    | 347    | 348    | 349    | 350    | 351    | 352    | 353    | 354    | 355    | 356    | 357    | 358    | 359    |
| 360    | 361    | 362    | 363    | 364    | 365    | 366    | 367    | 368    | 369    | 370    | 371    | 372    | 373    | 374    | 375    | 376    | 377    |
| 378    | 379    | 380    | 381    | 382    | 383    | 384    | 385    | 386    | 387    | 388    | 389    | 390    | 391    | 392    | 393    | 394    | 395    |
| 396    | 397    | 398    | 399    | 400    | 401    | 402    | 403    | 404    | 405    | 406    | 407    | 408    | 409    | 410    | 411    | 412    | 413    |
| 414    | 415    | 416    | 417    | 418    | 419    | 420    | 421    | 422    | 423    | 424    | 425    | 426    | 427    | 428    | 429    | 430    | 431    |
| 432    | 433    | 434    | 435    | 436    | 437    | 438    | 439    | 440    | 441    | 442    | 443    | 444    | 445    | 446    | 447    | 448    | 449    |
| 450    | 451    | 452    | 453    | 454    | 455    | 456    | 457    | 458    | 459    | 460    | 461    | 462    | 463    | 464    | 465    | 466    | 467    |
| 468    | 469    | 470    | 471    | 472    | 473    | 474    | 475    | 476    | 477    | 478    | 479    | 480    | 481    | 482    | 483    | 484    | 485    |
| 486    | 487    | 488    | 489    | 490    | 491    | 492    | 493    | 494    | 495    | 496    | 497    | 498    | 499    | 500    | 501    | 502    | 503    |
| 504    | 505    | 506    | 507    | 508    | 509    | 510    | 511    | 512    | 513    | 514    | 515    | 516    | 517    | 518    | 519    | 520    | 521    |
| 522    | 523    | 524    | 525    | 526    | 527    | 528    | 529    | 530    | 531    | 532    | 533    | 534    | 535    | 536    | 537    | 538    | 539    |
| 540    | 541    | 542    | 543    | 544    | 545    | 546    | 547    | 548    | 549    | 550    | 551    | 552    | 553    | 554    | 555    | 556    | 557    |
| 558    | 559    | 560    | 561    | 562    | 563    | 564    | 565    | 566    | 567    | 568    | 569    | 570    | 571    | 572    | 573    | 574    | 575    |
| 576    | 577    | 578    | 579    | 580    | 581    | 582    | 583    | 584    | 585    | 586    | 587    | 588    | 589    | 590    | 591    | 592    | 593    |
| 594    | 595    | 596    | 597    | 598    | 599    | 600    | 601    | 602    | 603    | 604    | 605    | 606    | 607    | 608    | 609    | 610    | 611    |
| 612    | 613    | 614    | 615    | 616    | 617    | 618    | 619    | 620    | 621    | 622    | 623    | 624    | 625    | 626    | 627    | 628    | 629    |
| 630    | 631    | 632    | 633    | 634    | 635    | 636    | 637    | 638    | 639    | 640    | 641    | 642    | 643    | 644    | 645    | 646    | 647    |
| 648    | 649    | 650    | 651    | 652    | 653    | 654    | 655    | 656    | 657    | 658    | 659    | 660    | 661    | 662    | 663    | 664    | 665    |
| 666    | 667    | 668    | 669    | 670    | 671    | 672    | 673    | 674    | 675    | 676    | 677    | 678    | 679    | 680    | 681    | 682    | 683    |
| 684    | 685    | 686    | 687    | 688    | 689    | 690    | 691    | 692    | 693    | 694    | 695    | 696    | 697    | 698    | 699    | 700    | 701    |
| 702    | 703    | 704    | 705    | 706    | 707    | 708    | 709    | 710    | 711    | 712    | 713    | 714    | 715    | 716    | 717    | 718    | 719    |
| 720    | 721    | 722    | 723    | 724    | 725    | 726    | 727    | 728    | 729    | 730    | 731    | 732    | 733    | 734    | 735    | 736    | 737    |
| 738    | 739    | 740    | 741    | 742    | 743    | 744    | 745    | 746    | 747    | 748    | 749    | 750    | 751    | 752    | 753    | 754    | 755    |
| 756    | 757    | 758    | 759    | 760    | 761    | 762    | 763    | 764    | 765    | 766    | 767    | 768    | 769    | 770    | 771    | 772    | 773    |
| 774    | 775    | 776    | 777    | 778    | 779    | 780    | 781    | 782    | 783    | 784    | 785    | 786    | 787    | 788    | 789    | 790    | 791    |
| 792    | 793    | 794    | 795    | 796    | 797    | 798    | 799    | 800    | 801    | 802    | 803    | 804    | 805    | 806    | 807    | 808    | 809    |
| 810    | 811    | 812    | 813    | 814    | 815    | 816    | 817    | 818    | 819    | 820    | 821    | 822    | 823    | 824    | 825    | 826    | 827    |
| 828    | 829    | 830    | 831    | 832    | 833    | 834    | 835    | 836    | 837    | 838    | 839    | 840    | 841    | 842    | 843    | 844    | 845    |
| 846    | 847    | 848    | 849    | 850    | 851    | 852    | 853    | 854    | 855    | 856    | 857    | 858    | 859    | 860    | 861    | 862    | 863    |
| 864    | 865    | 866    | 867    | 868    | 869    | 870    | 871    | 872    | 873    | 874    | 875    | 876    | 877    | 878    | 879    | 880    | 881    |
| 882    | 883    | 884    | 885    | 886    | 887    | 888    | 889    | 890    | 891    | 892    | 893    | 894    | 895    | 896    | 897    | 898    | 899    |
| 900    | 901    | 902    | 903    | 904    | 905    | 906    | 907    | 908    | 909    | 910    | 911    | 912    | 913    | 914    | 915    | 916    | 917    |
| 918    | 919    | 920    | 921    | 922    | 923    | 924    | 925    | 926    | 927    | 928    | 929    | 930    | 931    | 932    | 933    | 934    | 935    |
| 936    | 937    | 938    | 939    | 940    | 941    | 942    | 943    | 944    | 945    | 946    | 947    | 948    | 949    | 950    | 951    | 952    | 953    |
| 954    | 955    | 956    | 957    | 958    | 959    | 960    | 961    | 962    | 963    | 964    | 965    | 966    | 967    | 968    | 969    | 970    | 971    |
| 972    | 973    | 974    | 975    | 976    | 977    | 978    | 979    | 980    | 981    | 982    | 983    | 984    | 985    | 986    | 987    | 988    | 989    |
| 990    | 991    | 992    | 993    | 994    | 995    | 996    | 997    | 998    | 999    | 1000   | 1001   | 1002   | 1003   | 1004   | 1005   | 1006   | 1007   |
| 1008   | 1009   | 1010   | 1011   | 1012   | 1013   | 1014   | 1015   | 1016   | 1017   | 1018   | 1019   | 1020   | 1021   | 1022   | 1023   | 1024   | 1025   |
| 1026   | 1027   | 1028   | 1029   | 1030   | 1031   | 1032   | 1033   | 1034   | 1035   | 1036   | 1037   | 1038   | 1039   | 1040   | 1041   | 1042   | 1043   |
| 1044   | 1045   | 1046   | 1047   | 1048   | 1049   | 1050   | 1051   | 1052   | 1053   | 1054   | 1055   | 1056   | 1057   | 1058   | 1059   | 1060   | 1061   |
| 1062   | 1063   | 1064   | 1065   | 1066   | 1067   | 1068   | 1069   | 1070   | 1071   | 1072   | 1073   | 1074   | 1075   | 1076   | 1077   | 1078   | 1079   |
| 1080   | 1081   | 1082   | 1083   | 1084   | 1085   | 1086   | 1087   | 1088   | 1089   | 1090   | 1091   | 1092   | 1093   | 1094   | 1095   | 1096   | 1097   |
| 1098   | 1099   | 1100   | 1101   | 1102   | 1103   | 1104   | 1105   | 1106   | 1107   | 1108   | 1109   | 1110   | 1111   | 1112   | 1113   | 1114   | 1115   |
| 1116   | 1117   | 1118   | 1119   | 1120   | 1121   | 1122   | 1123   | 1124   | 1125   | 1126   | 1127   | 1128   | 1129   | 1130   | 1131   | 1132   | 1133   |
| 1134   | 1135   | 1136   | 1137   | 1138   | 1139   | 1140   | 1141   | 1142   | 1143   | 1144   | 1145   | 1146   | 1147   | 1148   | 1149   | 1150   | 1151   |
| 1152   | 1153   | 1154   | 1155   | 1156   | 1157   | 1158   | 1159   | 1160   | 1161   | 1162   | 1163   | 1164   | 1165   | 1166   | 1167   | 1168   | 1169   |
| 1170   | 1171   | 1172   | 1173   | 1174   | 1175   | 1176   | 1177   | 1178   | 1179   | 1180   | 1181   | 1182   | 1183   | 1184   | 1185   | 1186   | 1187   |
| 1188   | 1189   | 1190   | 1191   | 1192   | 1193   | 1194   | 1195   | 1196   | 1197   | 1198   | 1199   | 1200   | 1201   | 1202   | 1203   | 1204   | 1205   |
| 1206   | 1207   | 1208   | 1209   | 1210   | 1211   | 1212   | 1213   | 1214   | 1215   | 1216   | 1217   | 1218   | 1219   | 1220   | 1221   | 1222   | 1223   |
| 1224   | 1225   | 1226   | 1227   | 1228   | 1229   | 1230   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |



La selección del Kia Soul EV respondió principalmente a la existencia de documentación técnica detallada y a la disponibilidad de estudios previos desarrollados en el país que describen su desempeño energético en entornos urbanos. Esta información permitió disponer de parámetros de referencia consistentes para el análisis.

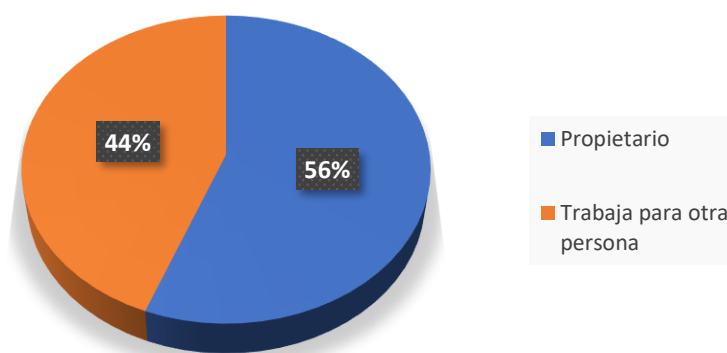
En el caso del BYD e5, su incorporación se sustentó en la amplia presencia de este modelo dentro del servicio de taxi y en los datos técnicos publicados por el fabricante. Si bien no se efectuaron mediciones directas sobre esta unidad durante el trabajo de campo, su consideración facilitó contrastar valores de autonomía y costos operativos frente al Kia Soul EV, proyectando escenarios comparables para la ciudad de Ibarra.

## 4.2 Datos de vehículos a combustión (propios)

### 4.2.1 *Análisis de Percepciones y Condiciones Operativas del Grupo Focal de Taxistas en Ibarra*

Se realizó una encuesta a un grupo focal de taxistas en Ibarra para conocer su percepción sobre la migración de vehículos de combustión interna a eléctricos. Las encuestas se tomaron en las paradas de taxis más concurridas, permitiendo obtener una muestra representativa de sus opiniones.

#### 1. ¿Es usted propietario del vehículo que conduce o trabaja para otra persona?



**Figura 23.** Participación de propietarios y conductores contratados en el gremio de taxis de Ibarra.

### Análisis

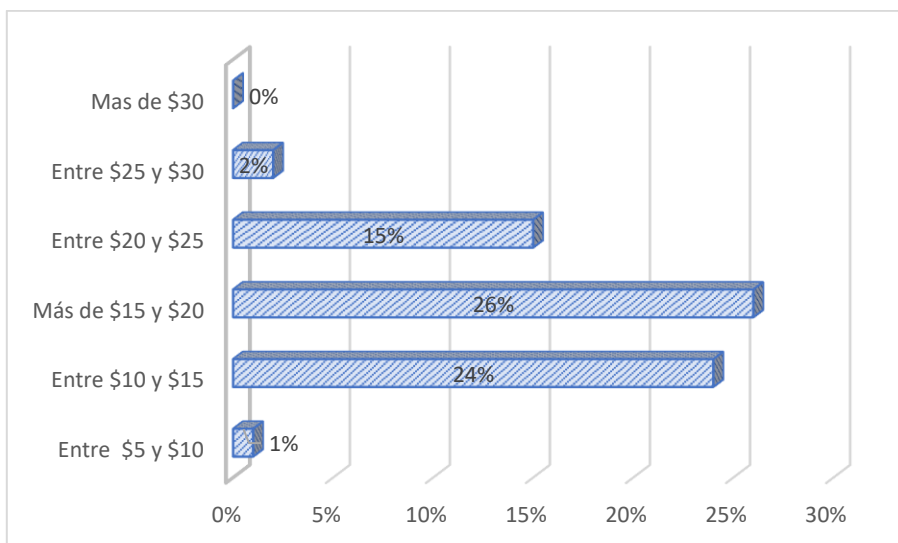


Los resultados muestran que el 56 % de los encuestados son propietarios de sus vehículos, mientras que el 44 % opera como conductor contratado. Esta distribución evidencia una participación relativamente equilibrada entre ambos perfiles dentro del gremio de taxis de la ciudad de Ibarra.

**Interpretación**

- **Propietarios:** Los conductores que son propietarios de sus vehículos presentan una mayor capacidad de decisión en relación con la adopción de nuevas tecnologías, como los vehículos eléctricos. Al ser ellos quienes asumirían tanto los costos como los beneficios de una posible transición, su nivel de apertura estará directamente vinculado a percepciones de ahorro económico, incentivos o mejoras operativas.
- **Conductores contratados:** Este grupo, al no ser propietario del vehículo, podría mostrar menor interés o involucramiento directo en el proceso de transición. No obstante, su percepción puede verse influenciada por factores como la comodidad del vehículo, posibles reducciones en gastos diarios (como el consumo de combustible) o políticas de los propietarios respecto a la renovación de unidades.

**2. ¿Cuánto gasta diariamente en combustible?**



**Figura 24.** Distribución porcentual del gasto diario en combustible de los taxistas encuestados.

**Análisis**

Los resultados muestran que el 50 % de los taxistas registra un gasto diario en combustible entre \$10 y \$20, siendo el rango de \$15 a \$20 el más frecuente. Un 15 % reporta gastos superiores a 20 USD, lo cual puede atribuirse al uso de vehículos con mayor consumo o a la realización de recorridos más extensos. En contraste, solo un 5 % indicó gastos entre

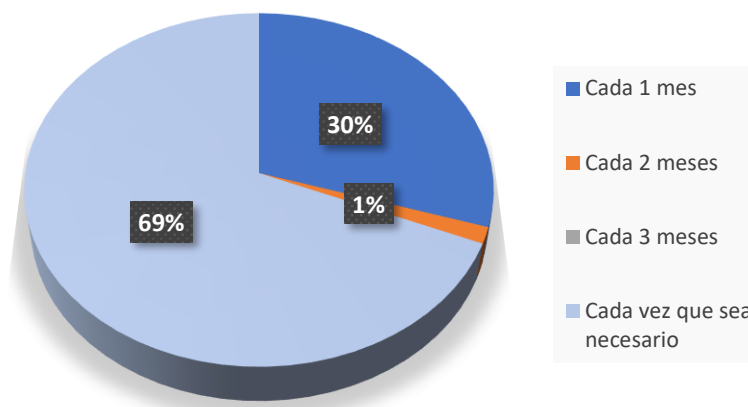


\$5 y \$10, posiblemente correspondientes a unidades más eficientes o a jornadas operativas reducidas.

### Interpretación

La distribución observada evidenció que la mayoría de los conductores mantiene un patrón de gasto medio y relativamente constante, característico de la operación urbana del servicio de taxi. Las diferencias en los valores registrados se asociaron a variables como el tipo de vehículo, las condiciones de tráfico y el esquema de trabajo, distinguiéndose entre taxis con parada fija y unidades en circulación continua.

### 3. ¿Con qué frecuencia realiza el cambio de aceite de su vehículo?



**Figura 25.** Frecuencia de cambio de aceite en los vehículos de los taxistas encuestados

### Análisis

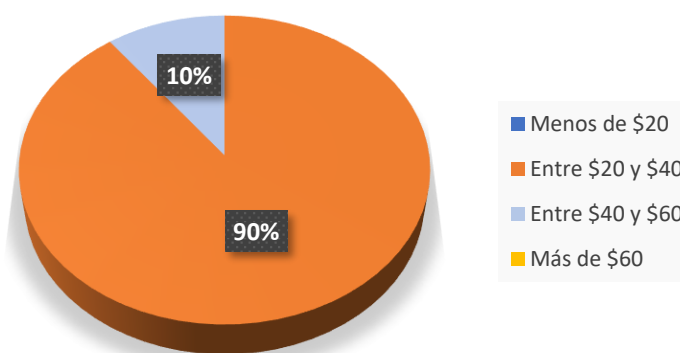
Los resultados reflejan que el 69 % de los taxistas realiza el cambio de aceite “cada vez que sea necesario”, lo cual en la mayoría de los casos se refiere al cumplimiento del umbral de 5 000 km recorridos, según se mencionó en los comentarios complementarios durante la encuesta. Por otro lado, un 30 % manifestó realizar el cambio de aceite mensualmente, lo cual también se asocia con el mismo kilometraje, considerando que algunos vehículos recorren largas distancias en ese período. Solo un 1 % indicó realizarlo cada dos meses, y no se registraron respuestas significativas en los demás rangos.

### Interpretación



El patrón de mantenimiento evidenciado por los encuestados sugiere que la mayoría de los taxistas tiene claridad sobre la importancia del cambio de aceite cada 5 000 km, independientemente del tiempo calendario transcurrido. Esta práctica refleja una cultura de mantenimiento preventivo orientada a preservar el rendimiento del motor y extender la vida útil del vehículo. Asimismo, se observa que quienes usan el vehículo con menor intensidad tienden a espaciar más los mantenimientos, lo que se vincula directamente con un menor kilometraje acumulado.

#### 4. ¿Cuánto gasta en promedio en el cambio de aceite de su vehículo?



**Figura 26.** Distribución de los costos promedio del cambio de aceite entre los taxistas encuestados

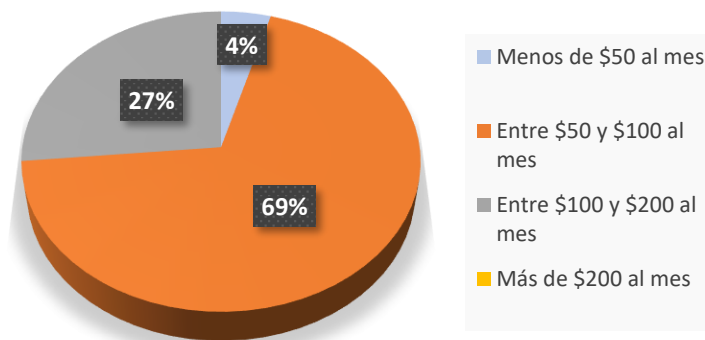
#### Análisis

De los resultados obtenidos, se observa que el 90 % de los taxistas encuestados reporta un gasto promedio de entre \$20 y \$40 por cada cambio de aceite, mientras que el 10 % restante indica costos de entre \$40 y \$60. No se registraron casos fuera de estos rangos, es decir, ningún conductor manifestó gastar menos de \$20 ni más de \$60.

#### Interpretación

Los valores más frecuentes, ubicados entre \$20 y \$40, corresponden a los precios estándar aplicados en talleres mecánicos locales, según lo mencionado por los encuestados. En cambio, el rango de \$40 a \$60 se asocia principalmente a servicios realizados en concesionarias, donde algunos taxistas prefieren el mantenimiento debido a garantías vigentes o recomendaciones del fabricante.

#### 5. ¿Cuáles son los costos promedio de mantenimiento de su vehículo?



**Figura 27.** Distribución de los costos promedio de mantenimiento mensual de los vehículos entre los taxistas encuestados.

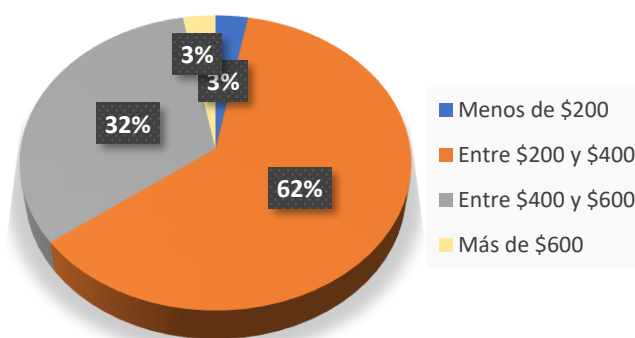
**Análisis**

Del total de taxistas encuestados, el 69 % indicó que el gasto mensual destinado al mantenimiento del vehículo se encuentra entre \$50 y \$100. Un 27 % señaló valores comprendidos entre \$100 y \$200, mientras que un 4 % reportó costos inferiores a \$50. No se registraron respuestas con gastos mensuales superiores a los \$200.

**Interpretación**

Los resultados muestran que el mantenimiento de los vehículos utilizados en el servicio de taxis en Ibarra se mantiene, en general, dentro de rangos considerados moderados. La mayoría de los conductores destina entre \$50 y \$100 mensuales, lo que sugiere prácticas de mantenimiento preventivo periódico y acceso a servicios mecánicos de costo accesible.

**6. ¿Cuánto gasta anualmente en reparaciones o piezas de repuesto para su vehículo?**



**Figura 28.** Distribución de los costos anuales de reparaciones o piezas de repuesto para los vehículos de los taxistas encuestados.

**Análisis**



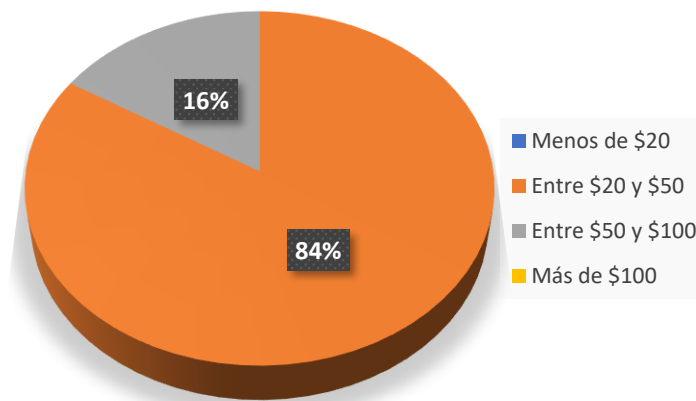
El 62 % de los conductores manifestó realizar un gasto anual en reparaciones o repuestos comprendido entre \$200 y \$400. Por su parte, el 32 % indicó montos entre \$400 y \$600, mientras que únicamente un 3 % reportó gastos menores a \$200 o superiores a \$600 anuales.

**Interpretación**

Los valores observados muestran que una parte importante del ingreso anual del taxista se destina al mantenimiento correctivo y al reemplazo de componentes mecánicos. Estos montos, aunque distribuidos en distintos rangos, reflejan que el vehículo a combustión genera un gasto periódico que debe ser considerado dentro de los costos operativos habituales.

Esta referencia resulta pertinente al momento de contrastarla con el mantenimiento requerido por un vehículo eléctrico, ya que la estructura mecánica de este último es menos compleja y, en etapas iniciales de uso, suele implicar intervenciones técnicas menos frecuentes.

**7. ¿Cuánto paga en promedio por el mantenimiento que realiza con mayor frecuencia?**



**Figura 29.** Distribución de los costos promedio mensuales de mantenimiento más frecuente realizado por los taxistas encuestados.

**Análisis**

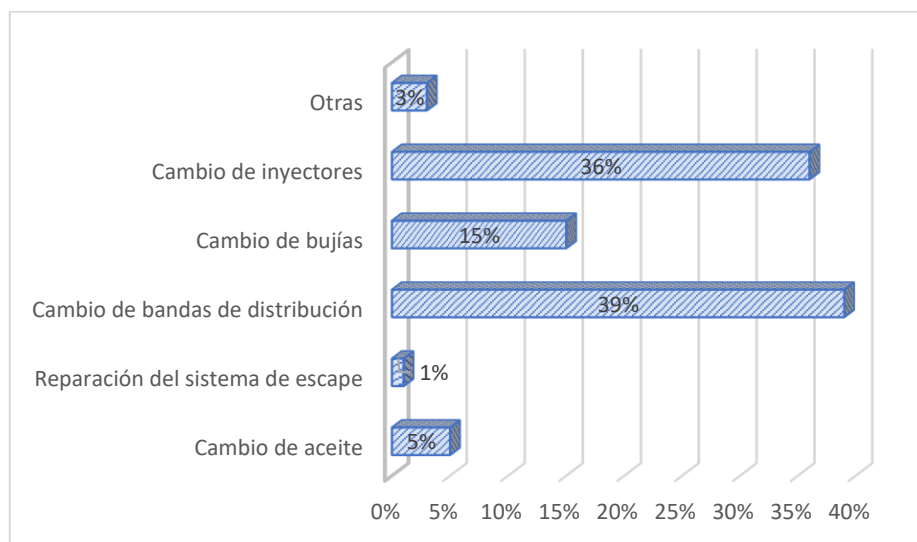
Según los resultados, el 84% de los taxistas encuestados paga entre \$20 y \$50 mensualmente por el mantenimiento que realiza con mayor frecuencia. El 16% restante reporta un gasto mensual de entre \$50 y \$100, sin registrarse valores superiores a este rango.

**Interpretación**



Este dato refleja que los costos mensuales asociados al mantenimiento frecuente se mantienen dentro de un rango accesible para la mayoría de los conductores. Esta información es útil para establecer un punto de comparación con el mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos eléctricos, el cual puede resultar más económico en el mediano plazo.

**8. ¿Cuál de las siguientes opciones considera más costosa en el mantenimiento de su vehículo de combustión?**



**Figura 30.** Distribución de los costos más altos en el mantenimiento de vehículos de combustión según los taxistas.

### **Análisis**

Los resultados indican que el "Cambio de bandas de distribución" fue identificado por la mayoría de los taxistas (39 respuestas) como el mantenimiento más costoso en sus vehículos. Le sigue el "Cambio de inyectores" con 36 menciones. En menor medida se encuentran el "Cambio de bujías" (15 respuestas), el "Cambio de aceite" (5 respuestas), y la "Reparación del sistema de escape" (1 respuesta). Además, 3 taxistas indicaron otras intervenciones costosas no especificadas en las opciones.

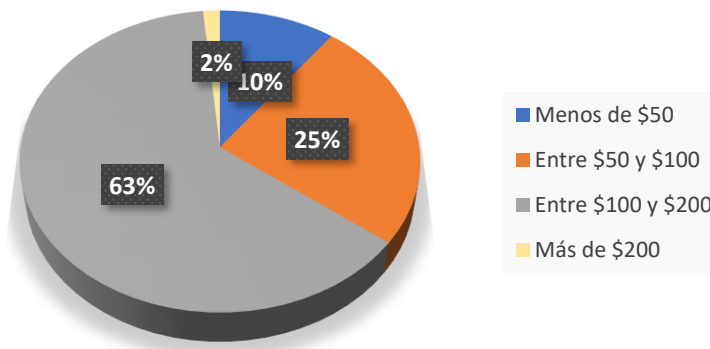
### **Interpretación**

Este resultado destaca cuáles son los componentes del vehículo de combustión que representan mayores gastos para los conductores. La identificación del cambio de bandas de



distribución e inyectores como los más costosos sugiere que los taxistas perciben estos elementos como determinantes en sus costos de mantenimiento.

**9. ¿Cuánto paga en promedio por el mantenimiento de la opción más costosa?**



**Figura 31.** Distribución de los costos promedio por el mantenimiento de la opción más costosa del vehículo.

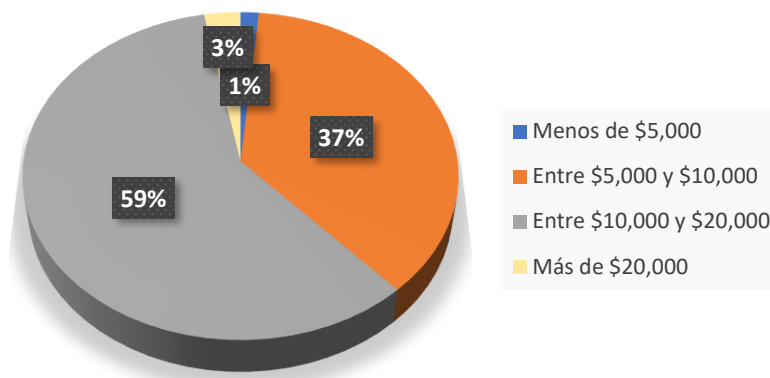
**Análisis**

Los resultados muestran que la mayoría de los conductores de taxi encuestados (63%) gasta entre \$100 y \$200 en el mantenimiento más costoso de sus vehículos. Un 25% indicó un gasto entre \$50 y \$100, mientras que un 10% afirmó que estos costos no superan los \$50. Solo un 2% reportó montos superiores a los \$200.

**Interpretación**

Este patrón evidencia que el mantenimiento de mayor valor económico en los vehículos de combustión representa un gasto considerable dentro de los costos operativos anuales de los taxistas. La mayoría reporta valores entre \$100 y \$200, lo cual podría estar relacionado con intervenciones como el cambio de bandas de distribución, reparación de inyectores o fallas mayores del motor.

**10. ¿Cuánto fue el costo inicial de adquisición de su vehículo?**



**Figura 32.** Distribución del costo inicial de adquisición del vehículo entre los taxistas encuestados.

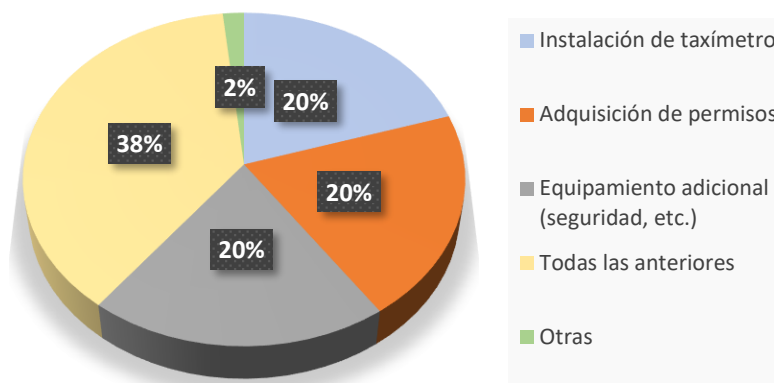
### Análisis

La mayoría de los conductores encuestados (59%) indicó que el costo inicial de adquisición de su vehículo fue entre \$10,000 y \$20,000. Un 37% señaló que el costo fue entre \$5,000 y \$10,000, mientras que solo un 1% declaró haber adquirido su vehículo por menos de \$5,000. Finalmente, un 3% reportó que su vehículo costó más de \$20,000.

### Interpretación

Estos resultados evidencian que la mayoría de los taxistas de Ibarra adquiere vehículos con un costo inicial medio, comprendido entre \$10,000 y \$20,000, lo que refleja una tendencia hacia modelos que equilibran rendimiento, durabilidad y accesibilidad. Un porcentaje considerable (37%) opta por vehículos más económicos, probablemente usados o de menor gama. En contraste, apenas un 3% ha realizado una inversión superior a los \$20,000, lo que indica que los altos costos iniciales representan una barrera significativa. Este dato es relevante en el contexto de la transición hacia vehículos eléctricos, dado que el precio de adquisición de estos modelos suele ser más elevado que el de sus equivalentes a combustión.

## 11. ¿Qué gastos adicionales realizó para preparar el vehículo para su uso como taxi?



**Figura 33.** Distribución de los gastos adicionales realizados para preparar el vehículo como taxi.

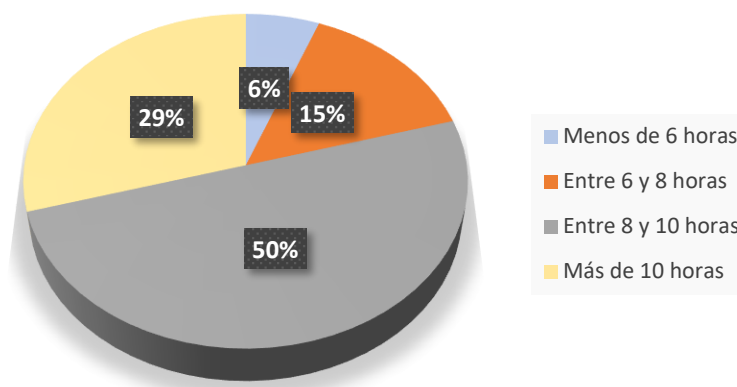
**Análisis**

Los resultados reflejan una distribución variada respecto a los gastos adicionales realizados por los taxistas para adaptar sus vehículos al servicio. La mayoría de los encuestados (38%) indicó haber realizado todos los gastos necesarios, lo que incluye la instalación del taxímetro, la obtención de permisos y la incorporación de elementos de seguridad u otros equipos obligatorios. Un 20% señaló haber invertido únicamente en la instalación del taxímetro, otro 20% en la obtención de permisos, y un 2% restante mencionó otros tipos de gastos no especificados en las categorías anteriores.

**Interpretación**

Estos resultados evidencian que una proporción significativa de los taxistas considera indispensable cumplir con todos los requisitos operativos y legales para ofrecer un servicio formal y seguro. La inversión integral en taxímetro, permisos y equipamiento adicional sugiere un compromiso con la profesionalización del servicio y con el cumplimiento de la normativa vigente. Dichos gastos adicionales podrían mantenerse o incluso variar según los requerimientos técnicos y legales específicos para operar unidades eléctricas dentro del servicio de taxis..

**12. ¿Cuántas horas trabaja en promedio al día?**



**Figura 34.** Distribución de las horas promedio de trabajo diarias de los taxistas.

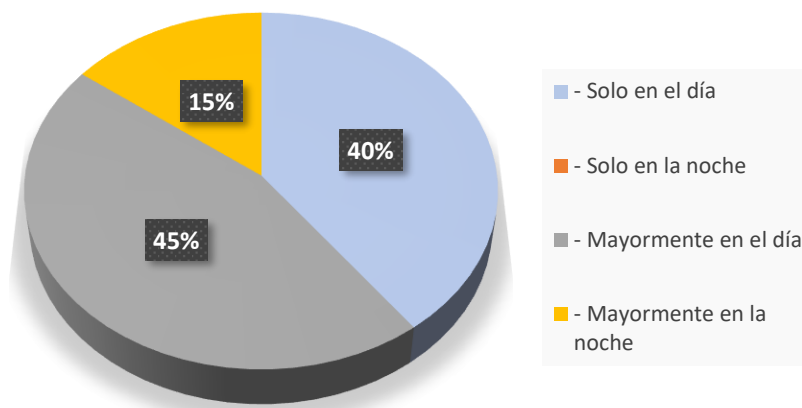
### **Análisis**

En cuanto a la cantidad de horas trabajadas por día, los resultados muestran que la mayoría de los encuestados (50%) trabaja entre 8 y 10 horas diarias, seguido por un 29% que labora más de 10 horas al día, lo que evidencia jornadas extensas dentro del gremio. Un 15% reportó trabajar entre 6 y 8 horas, mientras que el 6% indicó trabajar menos de 6 horas por día. Según lo manifestado por los propios encuestados, quienes trabajan menos de 6 horas generalmente utilizan el taxi como una segunda fuente de ingresos y, en la mayoría de los casos, son propietarios del vehículo.

### **Interpretación**

El análisis muestra que el 79% de los taxistas trabaja más de 8 horas al día, reflejando una alta dependencia del vehículo como principal fuente de ingresos. Esta carga horaria implica un uso intensivo de las unidades, lo cual influye directamente en el consumo energético y el desgaste del vehículo. En este contexto, los vehículos eléctricos podrían representar una alternativa viable a largo plazo, siempre que su autonomía y capacidad operativa se ajusten a estas exigencias. Por otro lado, el grupo que trabaja menos de 6 horas diarias en su mayoría propietarios podría mostrar una mayor disposición a adoptar nuevas tecnologías, al tener mayor flexibilidad económica o menores exigencias operativas diarias.

## **13. ¿Cómo distribuye sus horas entre el día y la noche?**



**Figura 35.** Análisis de la cantidad de horas trabajadas diariamente por los taxistas encuestados.

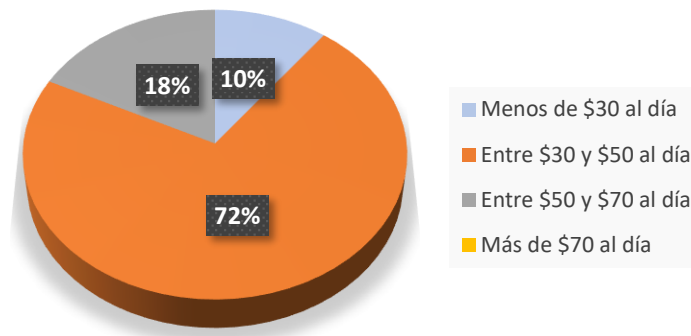
### Análisis

Según los resultados obtenidos, el 45% de los taxistas encuestados indicaron trabajar mayormente en el día, mientras que un 40% afirmó laborar solo en el día, lo que refleja una marcada preferencia por turnos diurnos. Un 15% restante manifestó trabajar mayormente en la noche, mientras que ningún encuestado indicó trabajar solo en la noche. Esto evidencia que las jornadas nocturnas exclusivas no son comunes dentro del gremio de taxis en Ibarra.

### Interpretación

El predominio de jornadas diurnas puede estar relacionado con factores como la percepción de seguridad, mayor disponibilidad de pasajeros o rutinas más predecibles. Esta distribución horaria es especialmente relevante al evaluar la factibilidad de implementar vehículos eléctricos en el servicio de taxis, ya que influye directamente en el manejo de la autonomía de las baterías y la planificación de los tiempos de carga. En particular, los conductores que trabajan única o mayoritariamente durante el día podrían beneficiarse de recargas nocturnas, mientras que aquellos con mayor actividad nocturna requerirían soluciones más flexibles, como estaciones de carga rápida.

## 14. ¿Cuál es el ingreso promedio generado por su taxi?



**Figura 36.** Distribución del ingreso promedio diario generado por los taxistas en Ibarra.

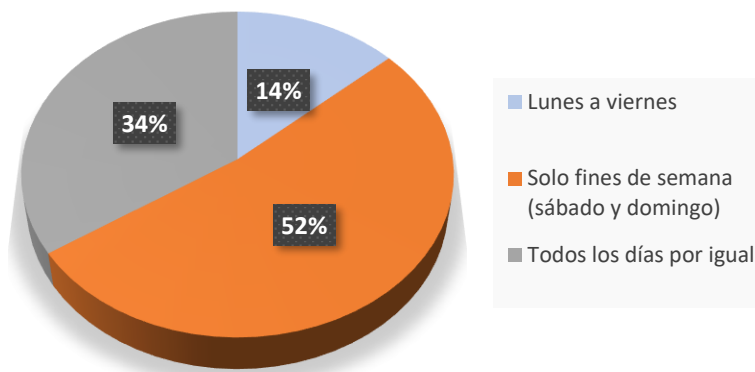
### Análisis

Los resultados muestran que el 72% de los conductores encuestados genera ingresos diarios que oscilan entre \$30 y \$50, lo cual representa el rango más frecuente. Un 18% manifiesta obtener entre \$50 y \$70 diarios, mientras que el 10% restante reporta ingresos inferiores a \$30 por día. Cabe señalar que ningún encuestado indicó generar ingresos superiores a \$70 diarios.

### Interpretación

Este patrón de ingresos refleja que la mayoría de los taxistas en Ibarra percibe un ingreso diario moderado, acorde al comportamiento típico de la demanda urbana de transporte. Este dato cobra relevancia al momento de analizar la factibilidad económica de migrar hacia vehículos eléctricos, ya que el costo inicial de adquisición de estos vehículos suele ser más elevado que el de los vehículos de combustión interna. Para los taxistas con ingresos limitados, este factor podría representar una barrera importante de acceso, salvo que existan incentivos financieros, subsidios o planes de financiamiento accesibles que faciliten la adopción de esta tecnología.

## 15. ¿Qué días considera los más rentables en términos de ingresos?



**Figura 37.** Días con mayor generación de ingresos según taxistas encuestados.

### **Análisis**

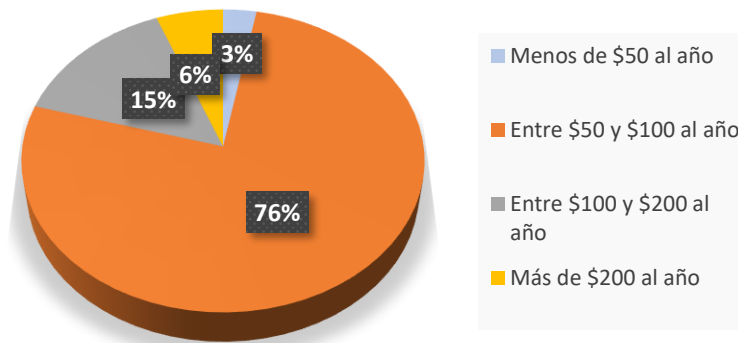
De acuerdo con la información recopilada, el 52 % de los conductores señaló que los mayores ingresos se obtienen durante los días sábado y domingo. Un 34 % manifestó que la rentabilidad se mantiene similar a lo largo de toda la semana, mientras que el 14 % indicó que los ingresos más altos se presentan entre lunes y viernes.

### **Interpretación**

Los datos obtenidos indican que, para una parte importante de los conductores, los fines de semana concentran una mayor demanda del servicio de taxi, lo cual podría relacionarse con actividades sociales, recreativas y desplazamientos no asociados a la jornada laboral habitual.

Por otro lado, el grupo que considera similares los ingresos durante toda la semana sugiere la existencia de rutas o zonas con demanda constante, como áreas comerciales, hospitales o terminales de transporte.

## **16. ¿Cuáles son los costos relacionados con permisos o licencias requeridos para operar?**



**Figura 38.** Costos anuales por permisos y licencias del servicio de taxi en Ibarra.

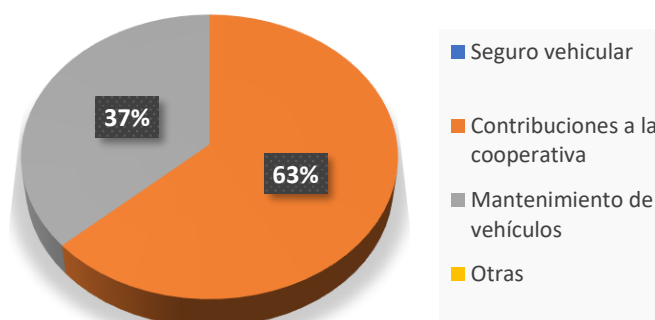
**Análisis**

Los resultados muestran que el 76 % de los conductores declaró un gasto anual comprendido entre 50 y 100 dólares por concepto de permisos o licencias. Un 15 % reportó valores entre 100 y 200 dólares, mientras que el 6 % indicó montos superiores a 200 dólares. Únicamente el 3 % manifestó costos inferiores a 50 dólares anuales.

**Interpretación**

La información analizada evidencia que los costos administrativos asociados a la operación legal del servicio de taxi en Ibarra se mantienen, en general, dentro de rangos moderados. La mayoría de los conductores incurre en gastos relativamente bajos para cumplir con los requisitos normativos, lo que facilita la formalización y continuidad de la actividad.

**17. ¿ En qué otros rubros adicionales, como seguros o aportes a la cooperativa, realiza gastos para operar el servicio de taxi?**



**Figura 39.** Distribución porcentual de los aspectos en los que los taxistas deben invertir adicionalmente, como mantenimiento o contribuciones a la cooperativa.



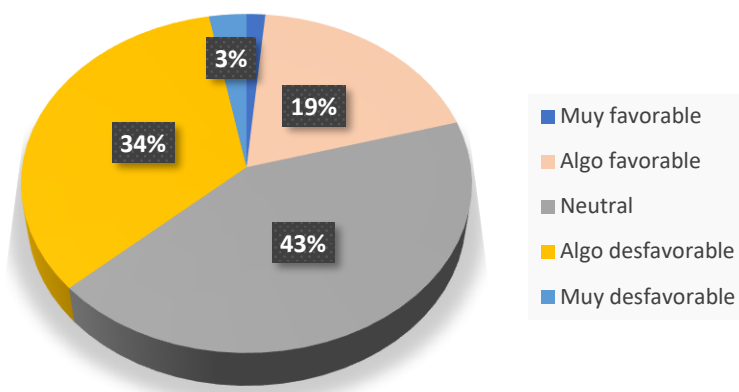
### Análisis

Según los resultados de la encuesta, el 63% de los conductores indicó que uno de sus principales gastos adicionales corresponde a las contribuciones económicas que deben realizar a sus respectivas cooperativas. El 37% restante mencionó el mantenimiento del vehículo como un rubro adicional de inversión. No se registraron respuestas en relación con gastos asociados a seguros vehiculares u otras categorías.

### Interpretación

Estos resultados reflejan la existencia de un sistema cooperativo activo y con responsabilidades compartidas, donde gran parte de los conductores destina recursos al sostenimiento de la organización. A su vez, el mantenimiento sigue representando una inversión obligatoria para una parte importante del gremio, dada la alta exigencia operativa de los taxis.

#### 18. ¿Qué opina sobre la posible implementación de vehículos eléctricos en el servicio de taxis?



**Figura 40.** Percepción de los conductores frente a la incorporación de vehículos eléctricos en el servicio de taxis.

### Análisis

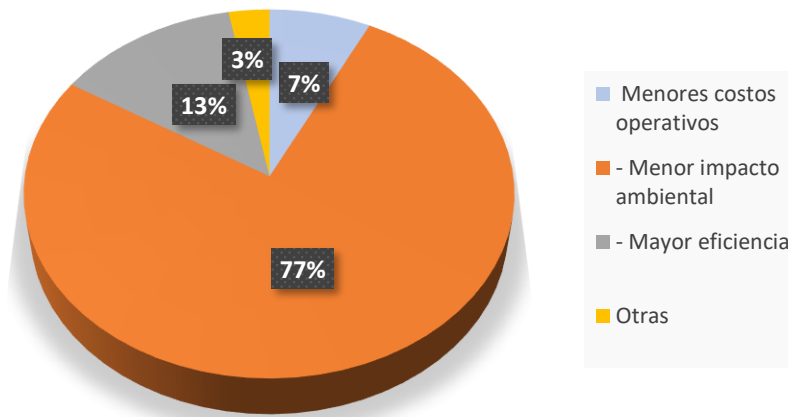
Los resultados reflejan que el 43% de los taxistas encuestados mantiene una postura neutral frente a la posible implementación de vehículos eléctricos en el servicio. Por su parte, un 34% manifestó una percepción algo desfavorable, mientras que un 19% expresó una opinión algo favorable. Solo un 3% indicó una postura muy desfavorable y apenas un 1% se mostró muy favorable respecto a esta transición tecnológica.



**Interpretación**

La percepción general del gremio de taxistas en Ibarra respecto a la migración hacia vehículos eléctricos se muestra dividida, predominando una actitud de incertidumbre o falta de definición. Esta neutralidad mayoritaria podría estar relacionada con el desconocimiento técnico sobre los beneficios y limitaciones de la electromovilidad, así como con preocupaciones sobre el costo inicial, la autonomía de las baterías y la limitada infraestructura de carga disponible en la ciudad. Cabe señalar que muchos de los taxistas realizan recorridos variables o prolongados por lo que la confianza en el desempeño del vehículo es clave.

**19. ¿Qué beneficios o desventajas percibe al cambiar a un vehículo eléctrico?**



**Figura 41.** Beneficios percibidos por los taxistas al considerar el cambio a vehículos eléctricos.

**Análisis**

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 76% de los taxistas encuestados considera que el principal beneficio de migrar a vehículos eléctricos es la reducción del impacto ambiental. Un 13% percibe como ventaja la mayor eficiencia del sistema, mientras que solo un 7% menciona los menores costos operativos como un factor relevante. El 3% restante identifica otros beneficios diversos.

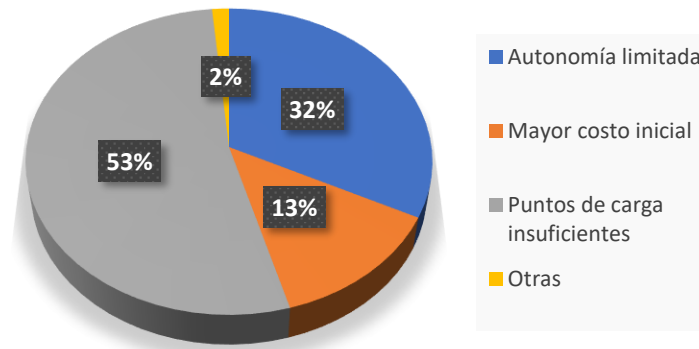
**Interpretación**

Los datos reflejan que existe una conciencia ambiental significativa entre los conductores, quienes reconocen el potencial de los vehículos eléctricos para contribuir a la sostenibilidad. Sin embargo, llama la atención que una proporción reducida relacione esta transición con beneficios económicos, como la disminución de los costos de operación. Esta



baja percepción puede deberse a una falta de información precisa sobre el ahorro que implican los vehículos eléctricos en cuanto a mantenimiento, consumo energético y desgaste mecánico.

**20. ¿Qué desventajas percibe al cambiar a un vehículo eléctrico?**



**Figura 42.** Desventajas percibidas por los taxistas al considerar el cambio a vehículos eléctricos.

**Análisis**

Según los resultados obtenidos, el 53% de los conductores encuestados considera que la principal desventaja de adoptar un vehículo eléctrico es la escasez de puntos de carga en la ciudad. Un 32% señala la autonomía limitada como un obstáculo relevante, mientras que el 13% identifica el alto costo inicial como una desventaja. Solo un 2% menciona otras dificultades no especificadas.

**Interpretación**

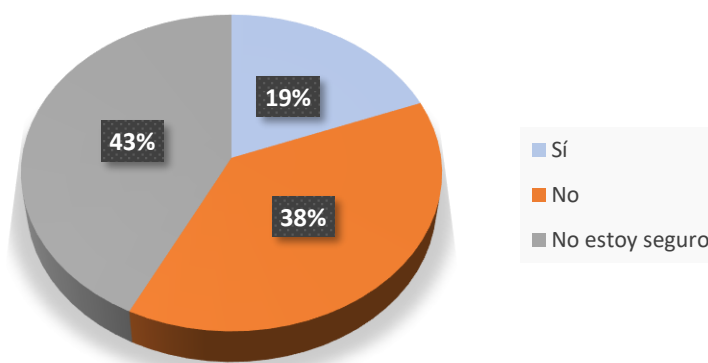
Estos resultados reflejan que la falta de infraestructura de carga constituye el principal factor de resistencia frente a la migración hacia vehículos eléctricos, especialmente en un contexto urbano como el de Ibarra, donde se percibe una insuficiente cobertura para atender a una flota activa durante extensas jornadas. La preocupación por la autonomía también resulta significativa, especialmente considerando las características geográficas de la ciudad, como las pendientes pronunciadas y recorridos variables, que pueden incidir negativamente en el rendimiento energético.

Aunque el costo inicial es mencionado como una desventaja, se observa que los aspectos operativos como la disponibilidad de carga y la autonomía generan mayor



preocupación entre los conductores. Estos hallazgos destacan la necesidad de fortalecer la infraestructura de carga y brindar información clara sobre el comportamiento real de los vehículos eléctricos en condiciones locales, como estrategia clave para facilitar su aceptación y reducir la percepción de riesgo en el gremio del taxi.

## 21. ¿Cree que los vehículos eléctricos son viables para las rutas que opera actualmente?



**Figura 43.** Evaluación de los conductores sobre la adecuación de los vehículos eléctricos a las rutas habituales del servicio de taxi en Ibarra..

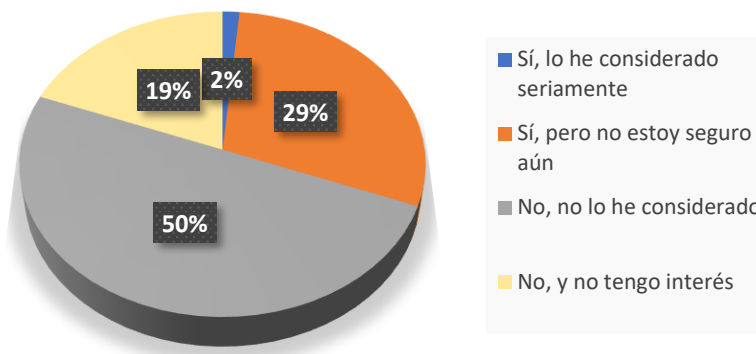
### Análisis

El procesamiento de las respuestas muestra que el 43 % de los conductores manifestó no tener una posición definida respecto al uso de vehículos eléctricos en las rutas que actualmente opera. Asimismo, el 38 % señaló que este tipo de vehículos no se ajustaría a sus recorridos habituales, mientras que solo el 19 % indicó que sí podrían emplearse sin mayores inconvenientes en las condiciones actuales de trabajo.

### Interpretación

Los resultados evidencian un alto grado de incertidumbre y escepticismo entre los conductores respecto a la adaptabilidad de los vehículos eléctricos a las condiciones reales de operación en la ciudad de Ibarra. Esta percepción podría estar influenciada por el desconocimiento técnico sobre aspectos clave como la autonomía efectiva, los tiempos de recarga y el comportamiento del vehículo frente a pendientes y recorridos prolongados.

## 22. ¿ En algún momento ha evaluado la posibilidad de reemplazar su vehículo actual por uno de tecnología eléctrica?



**Figura 44.** Consideración de los conductores sobre cambiar su vehículo actual a uno eléctrico

**Análisis**

El 50% de los taxistas encuestados indicó que no ha considerado cambiar su vehículo actual por uno eléctrico. Un 29% señaló que ha pensado en esta posibilidad, aunque aún no está seguro. Por otro lado, el 19% manifestó que no tiene interés en realizar dicho cambio, y apenas un 2% indicó que lo ha considerado seriamente.

**Interpretación**

Los resultados evidencian una falta generalizada de decisión o motivación por parte del gremio de taxistas en relación con la migración hacia vehículos eléctricos. La mitad de los encuestados no ha contemplado esta opción, y cerca de un tercio mantiene una postura de duda, a pesar de haber pensado en ello. Esta situación refleja una necesidad latente de implementar estrategias de socialización, información técnica y educación energética que permitan difundir de manera efectiva los beneficios reales de esta tecnología, como la reducción en los costos operativos y de mantenimiento

**23. ¿Porque ha considerado esta decisión?**



**Figura 45.** Principales razones por las que los conductores no han considerado seriamente cambiar a un vehículo eléctrico.

**Análisis**

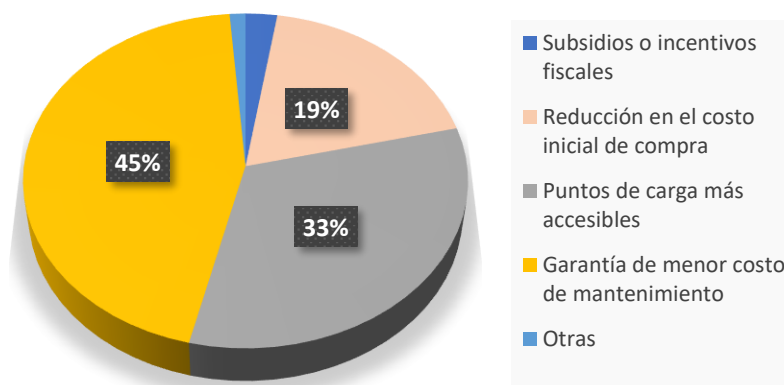


La figura muestra una nube de palabras generada a partir de las respuestas abiertas de los encuestados. El término más repetido fue “información”, destacando frases como: “falta de información”, “información limitada”, “no hay difusión”, “no existen planes accesibles”, “no veo rentable” y “no se ha promovido ningún programa en la cooperativa”. También aparecen preocupaciones sobre autonomía real, estaciones de carga, interés institucional y rentabilidad.

**Interpretación**

A partir de las respuestas obtenidas, se identificó que uno de los factores que más limita el interés de los conductores por adoptar vehículos eléctricos es el desconocimiento general sobre su funcionamiento y costos asociados. Una parte importante de los encuestados señaló no contar con información clara respecto a la inversión inicial, los gastos de mantenimiento, el alcance real de la autonomía y la disponibilidad de infraestructura de recarga dentro de la ciudad.

**24. ¿Qué incentivos serían necesarios para que se decida por un vehículo eléctrico?**



**Figura 46.** Incentivos percibidos como necesarios para la adopción de vehículos eléctricos.

**Análisis**

Según los resultados obtenidos, el 45% de los encuestados considera que la garantía de un menor costo de mantenimiento representa el principal incentivo para optar por un vehículo eléctrico. Un 33% indicó que contar con puntos de carga más accesibles sería un factor determinante, mientras que el 19% considera que una reducción en el costo inicial de adquisición sería el incentivo más relevante. Los subsidios estatales, incentivos fiscales y otras opciones recibieron un número muy reducido de respuestas.



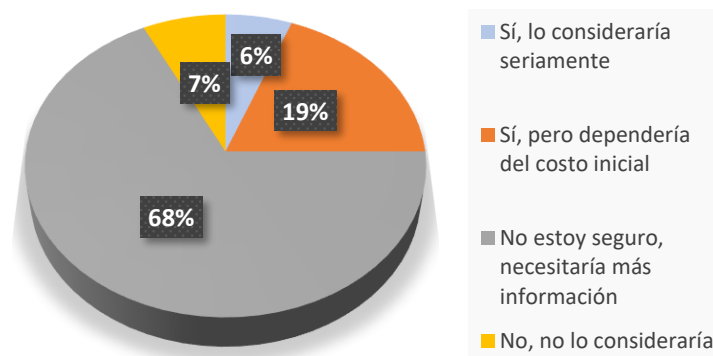
## Interpretación

Los datos reflejan que los conductores priorizan los aspectos operativos de largo plazo, como el ahorro en mantenimiento, por encima de los incentivos económicos iniciales. Esto evidencia una conciencia creciente sobre los beneficios que ofrecen los vehículos eléctricos en términos de eficiencia y reducción de costos recurrentes.

La disponibilidad de infraestructura de carga también se destaca como un aspecto prioritario para los taxistas, lo que sugiere que su limitada cobertura actual constituye una barrera crítica para la adopción de esta tecnología.

El bajo nivel de respuestas asociadas a subsidios o incentivos fiscales podría estar relacionado con el desconocimiento de este tipo de herramientas o con una percepción de baja efectividad en su aplicación práctica.

### 25. ¿Consideraría cambiar a un vehículo eléctrico si tuviera garantías sobre su rendimiento y costos operativos?



**Figura 47.** Consideración de los conductores para cambiar a un vehículo eléctrico si tuviera garantías sobre rendimiento y costos operativos.

## Análisis

El 68% de los conductores encuestados manifestó que no consideraría cambiar a un vehículo eléctrico, incluso si se garantizaran el rendimiento y los costos operativos. Un 19% indicó que sí lo consideraría seriamente bajo dichas condiciones, mientras que el 13% expresó que dependería del costo inicial para tomar una decisión. Finalmente, un 7% señaló que no está seguro y que necesitaría más información para decidir.

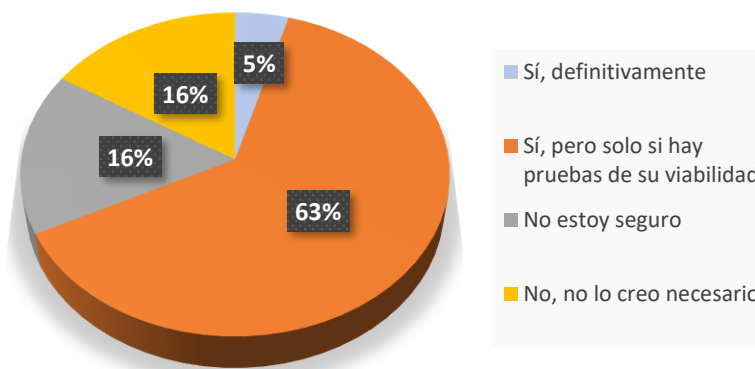


### Interpretación

A pesar de que las garantías sobre rendimiento y costos operativos representan un incentivo potencial importante, los resultados evidencian una resistencia generalizada al cambio tecnológico entre los taxistas encuestados. Esta actitud podría asociarse a factores como la desconfianza hacia la tecnología eléctrica, la ausencia de experiencias previas positivas o la percepción de riesgo económico y funcional ante una inversión de este tipo.

El grupo que condicionó su decisión al costo inicial (13 %) evidencia que los factores financieros inmediatos continúan siendo una barrera determinante para la adopción de vehículos eléctricos. De igual manera, el 7 % que expresó necesitar más información resalta la falta de conocimiento técnico y la necesidad de programas de sensibilización y capacitación, tales como talleres, pruebas piloto o campañas informativas que demuestren la autonomía, eficiencia y ahorro reales que pueden ofrecer estos vehículos.

### 26. ¿Cree que el gobierno o las cooperativas deberían ofrecer incentivos para facilitar la transición a vehículos eléctricos?



**Figura 48.** Opinión de los conductores sobre si el gobierno o las cooperativas deberían ofrecer incentivos para facilitar la transición a vehículos eléctricos

### Análisis

El 63% de los taxistas encuestados considera que los incentivos deberían implementarse únicamente si se demuestra previamente la viabilidad de los vehículos eléctricos en condiciones locales. Un 16% está completamente a favor de que se ofrezcan incentivos, sin necesidad de validaciones previas. Otro 16% cree que no son necesarios este tipo de estímulos, mientras que el 4% restante expresó no estar seguro al respecto.



## Interpretación

A pesar de que las garantías sobre rendimiento y costos operativos representan un incentivo potencial importante, los resultados evidencian una resistencia generalizada al cambio tecnológico entre los taxistas encuestados. Esta actitud podría asociarse a factores como la desconfianza hacia la tecnología eléctrica, la ausencia de experiencias previas positivas o la percepción de riesgo económico y funcional ante una inversión de este tipo.

El grupo que condicionó su decisión al costo inicial (13 %) evidencia que los factores financieros inmediatos continúan siendo una barrera determinante para la adopción de vehículos eléctricos. De igual manera, el 7 % que expresó necesitar más información resalta la falta de conocimiento técnico y la necesidad de programas de sensibilización y capacitación, tales como talleres, pruebas piloto o campañas informativas que demuestren la autonomía, eficiencia y ahorro reales que pueden ofrecer estos vehículos.

### 4.2.2 Datos técnicos y económicos de vehículos de combustión y eléctricos

#### *Características generales del vehículo de combustión seleccionado*

El vehículo tomado como referencia para este análisis es el Chevrolet Aveo Family / Emotion, el cual representa una opción ampliamente utilizada por los taxistas en la ciudad de Ibarra. Esta elección responde a su alta disponibilidad en el mercado, bajo costo de adquisición, mantenimiento accesible y facilidad para encontrar repuestos, tal como se valida en el estudio de factibilidad realizado en la ciudad de Cuenca[51].

Según los datos obtenidos en las encuestas y las observaciones de campo con el GPS (modelo FMC130), la mayoría de los taxistas sin parada fija superan los 200 km recorridos diarios, mientras que aquellos con parada fija no sobrepasan los 150 km. Estos valores fueron verificados durante las pruebas previas de georreferenciación y son consistentes con los datos presentados en el documento “Consumo de combustible en Ibarra” [52].



En cuanto al mantenimiento, los conductores manifestaron que realizan el cambio de aceite cada 5,000 km, con costos que varían dependiendo de si el servicio es en un taller independiente o en uno autorizado.) Este aspecto es relevante para la comparación con los vehículos eléctricos, ya que influye directamente en el costo operativo mensual.

A continuación, se presentan las características técnicas del Chevrolet Aveo Family / Emotion, utilizado como referencia en este análisis:

**Tabla XXIV**

**Características técnicas del vehículo de combustión seleccionado**

| Especificación                     | Valor  |
|------------------------------------|--|
| <b>Marca / Modelo</b>              | Chevrolet Aveo Family / Emotion              |
| <b>Tipo de Vehículo</b>            | Sedán  |
| <b>Tipo de Motor</b>               | Gasolina                                     |
| <b>Cilindraje</b>                  | 1.498 cc                                     |
| <b>Potencia</b>                    | 81 hp  |
| <b>Consumo promedio (ciudad)</b>   | 45 km/galón (promedio estimado en ciudad)    |
| <b>Autonomía estimada diaria</b>   | 150–200 km (según operación)                 |
| <b>Capacidad de pasajeros</b>      | 5 personas                                   |
| <b>Tipo de transmisión</b>         | Manual                                       |
| <b>Tipo de tracción</b>            | Delantera                                    |
| <b>Vida útil estimada</b>          | 300.000 km o 15 años (vehículo convencional) |
| <b>Precio</b>                      | \$15,000                                     |
| <b>Precio aproximado (Ecuador)</b> | USD 6.000–7.500 (usado)                      |

**Fuente:** Adaptado de [51], [52].

La autonomía de este modelo, como se observa en la tabla XXV, es un valor aproximado basado en las condiciones de operación de los taxistas en Ibarra, y puede variar según el tipo de uso, las condiciones del tráfico y el tipo de ruta (parada fija vs. libre).

***Características del vehículo eléctrico KIA SOUL EV***

El Kia Soul EV ha sido seleccionado como modelo representativo para el análisis debido a su homologación como taxi en diversas ciudades del Ecuador, incluyendo Loja, Cuenca y



Guayaquil, y su posicionamiento entre los vehículos eléctricos más vendidos en el país [53]. El Kia Soul EV presenta una autonomía real aproximada de 124.8 km por carga completa, de acuerdo con estudios previos que analizaron su desempeño en contextos urbanos comparables al de la ciudad de Ibarra[51].

Adicionalmente, este vehículo ha sido evaluado en estudios de factibilidad para su incorporación como taxi convencional, en los cuales se resalta su eficiencia energética de 0.216 kWh/km y sus menores costos operativos en comparación con vehículos de combustión interna [54]. Desde el punto de vista técnico, el modelo incorpora un motor eléctrico de 150 kW, una batería de 27 kWh de tipo polímero de litio, sistema de tracción delantera y transmisión automática. Su desempeño resulta particularmente favorable en entornos urbanos con tráfico intenso, donde el sistema de regeneración de energía durante las frenadas contribuye a mejorar la autonomía efectiva. La vida útil estimada de este modelo como taxi convencional se considera de 300,000 km o 15 años[51].

**Tabla XXV**

**Especificaciones técnicas y operativas del Kia Soul EV**

| Especificación                           | Valor                  |
|--|------------------------|
| <b>Marca / Modelo</b>                    | Kia Soul EV            |
| <b>Tipo de Vehículo</b>                  | SUV Compacto Eléctrico |
| <b>Tipo de Motor</b>                     | Eléctrico (150 kW)     |
| <b>Tipo de batería</b>                   | Polímero de litio      |
| <b>Torque</b>                            | 285 nm                 |
| <b>Potencia</b>                          | 150 kW - 201 hp        |
| <b>Capacidad de batería</b>              | 27 kWh                 |
| <b>Velocidad máxima combinada [km/h]</b> | 145 km/h               |
| <b>Consumo energético promedio</b>       | 0.216 kWh/km           |
| <b>Tiempo de carga 220 V</b>             | 5 horas                |
| <b>Tiempo de carga 440 V</b>             | 45 min                 |
| <b>Tipo de tracción</b>                  | Delantera              |
| <b>Tipo de transmisión</b>               | Automática             |
| <b>Capacidad de pasajeros</b>            | 5 personas             |
| <b>Tipo de transmisión</b>               | Automática             |
| <b>Capacidad de carga (baúl)</b>         | 315 L                  |
| <b>Garantía batería</b>                  | 7 años o 150,000 km    |



|  |                |
|--|----------------|
| <b>Mantenimiento preventivo</b>        | Cada 15,000 Km |
| <b>Precio (Exonerado de impuestos)</b> | \$34,000       |

Fuente: Adaptado de [51], [53].

### *Datos del vehículo eléctrico BYD E5*

El BYD e5 es un vehículo eléctrico de tipo sedán diseñado principalmente para transporte urbano, especialmente en flotas de taxi. Está homologado oficialmente como taxi en Ecuador, conforme a la Resolución No. 172-DIR-2010-CNTTTSV de la Agencia Nacional de Tránsito [55]. Su adopción ha crecido en ciudades como Guayaquil, Cuenca y Loja, donde ha sido promovido como una alternativa rentable frente a vehículos de combustión, gracias a su eficiencia energética, bajo costo operativo y facilidad de mantenimiento [54],[56],[10].

Una de sus principales fortalezas es su alta autonomía en condiciones reales, que puede alcanzar entre 180 y 200 km bajo condiciones urbanas intensivas. Esta cifra es considerablemente menor que los 300–330 km estimados bajo el ciclo NEDC, debido a las condiciones reales de operación. La autonomía nominal del BYD e5 es de hasta 400 km, pero este valor no se alcanza en la operación diaria de taxis urbanos.

El tiempo de carga varía entre 1 h 15 min en una electrolinera rápida (440 V) y hasta 8 horas en una conexión domiciliar de 220 V [55]. Además, su batería cuenta con garantía de hasta 500,000 km o 5 años, lo cual representa una ventaja significativa para operaciones de alta exigencia diaria como el servicio de taxi.

**Tabla XXVI**

**Especificaciones técnicas del vehículo eléctrico BYD E5**

| Especificación          | Valor                                  |
|-------------------------|--|
| <b>Marca / Modelo</b>   | BYD e5                                 |
| <b>Tipo de Vehículo</b> | Sedán                                  |
| <b>Tipo de Motor</b>    | Eléctrico (160 kW)                     |
| <b>Tipo de batería</b>  | Fosfato de hierro y litio<br>(LiFePO4) |
| <b>Torque</b>           | 310 Nm                                 |



|  |                     |
|--|---------------------|
| <b>Potencia</b>                          | 160 kw - 214 hp     |
| <b>Capacidad bruta de batería</b>        | 60 kWh              |
| <b>Capacidad útil de batería</b>         | 47 kWh              |
| <b>Velocidad máxima combinada [km/h]</b> | 130 km/h            |
| <b>Consumo energético promedio</b>       | 0.153 kWh/km        |
| <b>Tiempo de carga 220 V</b>             | 7–8 horas           |
| <b>Tiempo de carga 440 V</b>             | 1 h 15 min          |
| <b>Tipo de tracción</b>                  | Delantera           |
| <b>Tipo de transmisión</b>               | Automática          |
| <b>Capacidad de pasajeros</b>            | 5 personas          |
| <b>Tipo de transmisión</b>               | Automática          |
| <b>Capacidad de carga (baúl)</b>         | 450 L               |
| <b>Garantía de batería</b>               | 5 años o 500,000 km |
| <b>Mantenimiento preventivo</b>          | Cada 10,000 Km      |
| <b>Precio (Exonerado de impuestos)</b>   | \$34,000            |

Fuente: Adaptado de [55], [56],[57].

Las autonomías pueden variar significativamente en función de factores como el estilo de conducción, altitud, temperatura ambiente y topografía. Para una evaluación más representativa, se incluyen también los datos de pruebas reales en Ecuador en la Tabla XXVII.

**Tabla XXVII**

**Desempeño real del Kia Soul EV y BYD e5 en diferentes ciudades del país según condiciones de operación**

| Ciudad           | Inclinación crítica / promedio (%)     | Distancia recorrida diaria (km) | Autonomía real registrada (km) | Vehículo usado | Fuente |
|------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|----------------|--------|
| <b>Cuenca</b>    | 6.28 % (urbana promedio)               | 134.58 – 272.08                 | 124.86 (promedio)              | Kia Soul EV    | [51]   |
|                  |  |                                 | 180–200                        | BYD e5         | [54]   |
| <b>Loja</b>      | ~8 % (urbana con pendientes moderadas) | 250                             | 180                            | BYD e5         | [58]   |
|                  |  |                                 | 120 o menos                    | Kia Soul EV    |        |
| <b>Guayaquil</b> | ~2–4 % (urbano plano típico)*          | —                               | 250                            | BYD e5         | [10]   |
|                  |  |                                 | 180                            | Kia Soul EV    |        |

La autonomía real varía según la inclinación de la ciudad, tráfico, uso del sistema de climatización y otros factores locales. Los datos presentados fueron obtenidos de estudios técnicos y experiencias de flotas de taxis eléctricos.



### *Interpretación de los datos técnicos*

Como se observa en las tablas presentadas, los tres modelos analizados exhiben diferencias significativas en sus características técnicas, las cuales inciden directamente en su desempeño operativo como unidades destinadas al servicio de taxi urbano.

El análisis correspondiente al Chevrolet Aveo Family / Emotion permitió establecer que su alta presencia dentro de la flota de taxis de la ciudad de Ibarra se debió, principalmente, a su menor costo de adquisición y a los gastos reducidos asociados al mantenimiento mecánico. Estas condiciones facilitaron su incorporación por parte de los conductores; no obstante, al evaluar su comportamiento económico a lo largo del tiempo, se determinó que el consumo de combustible generó costos operativos acumulados más elevados, lo que afectó negativamente la rentabilidad del servicio en comparación con las alternativas eléctricas.

En el caso de los vehículos eléctricos evaluados, se identificaron condiciones favorables relacionadas con su eficiencia energética y con una menor frecuencia de intervenciones mecánicas. No obstante, al contrastar los datos técnicos con el comportamiento observado bajo condiciones reales de operación urbana, se evidenciaron variaciones respecto a las autonomías declaradas por los fabricantes. Para el BYD e5, los recorridos efectivos registrados se situaron entre 180 y 200 km, mientras que el Kia Soul EV presentó rangos aproximados de 120 a 180 km, dependiendo del relieve y de las condiciones ambientales durante la jornada.

El funcionamiento de ambos modelos se apoyó en baterías de alta densidad energética y en sistemas de regeneración durante el frenado, elementos que favorecen su desempeño en entornos urbanos con detenciones frecuentes. Sin embargo, el análisis también permitió reconocer que su incorporación a gran escala enfrenta limitaciones asociadas al costo inicial de adquisición, a la



disponibilidad de infraestructura de recarga y a la ausencia de mecanismos de incentivo que reduzcan la brecha frente a los vehículos de combustión.

Estas diferencias en autonomía, eficiencia y costos operativos serán analizadas con mayor detalle en la sección siguiente, mediante un análisis comparativo integral que considere el consumo energético por kilómetro, el costo operativo mensual y la viabilidad económica de la migración hacia vehículos eléctricos en el servicio de taxi de la ciudad de Ibarra.

**Tabla XXVIII**

**Comparación técnica y económica general de vehículos analizados**

| <b>Especificación</b>              | <b>Kia Soul EV</b>                | <b>BYD e5</b>                                    | <b>Chevrolet Aveo Family / Emotion</b> |
|------------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| <b>Tipo de Vehículo</b>            | SUV compacto eléctrico            | Sedán eléctrico                                  | Sedán a gasolina                       |
| <b>Tipo de Motor</b>               | Eléctrico (150 kW)                | Eléctrico (160 kW)                               | Gasolina                               |
| <b>Tipo de batería</b>             | Polímero de ion de litio (NCM)    | Fosfato de hierro y litio (LiFePO <sub>4</sub> ) | —                                      |
| <b>Capacidad de batería</b>        | 27 kWh                            | 60 kWh   | —                                      |
| <b>Potencia</b>                    | 150 kW – 201 hp                   | 160 kW – 214 hp                                  | 81 hp (60.4 kW)                        |
| <b>Torque</b>                      | 285 Nm                            | 310 Nm   | —                                      |
| <b>Velocidad máxima</b>            | 145 km/h                          | 130 km/h   | —                                      |
| <b>Consumo energético promedio</b> | 0.216 kWh/km                      | 0.153 kWh/km                                     | 45 km/galón (ciudad)                   |
| <b>Autonomía estimada diaria</b>   | 124–250 km (según uso y carga)    | 180-330 km (urbano)                              | 150–200 km (ciudad)                    |
| <b>Tiempo de carga (220 V)</b>     | 5 horas                           | 7–8 horas  | —                                      |
| <b>Tiempo de carga (440 V)</b>     | 45 min                            | 1 h 15 min                                       | —                                      |
| <b>Tipo de transmisión</b>         | Automática                        | Automática                                       | Manual                                 |
| <b>Tipo de tracción</b>            | Delantera                         | Delantera  | Delantera                              |
| <b>Capacidad de pasajeros</b>      | 5 personas                        | 5 personas                                       | 5 personas                             |
| <b>Capacidad de carga (baúl)</b>   | 315 L                             | 450 L  | —                                      |
| <b>Vida útil estimada batería</b>  | 15 años (~1.500 ciclos)           | 30 años (~3.000 ciclos)                          | —                                      |
| <b>Vida útil estimada vehículo</b> | —                                 | —  | 300.000 km o 15 años                   |
| <b>Garantía de batería</b>         | 7 años o 150.000 km               | 5 años o 500.000 km                              | —                                      |
| <b>Mantenimiento preventivo</b>    | Cada 15.000 km                    | Cada 10.000 km                                   | Cada 5.000 km                          |
| <b>Costo anual mantenimiento</b>   | — (bajo, pero correctivo costoso) | Muy bajo   | USD \$700 – \$1.200                    |
| <b>Precio (nuevo)</b>              | USD \$34.000                      | USD \$34.000                                     | USD \$20.690                           |



**Precio (usado estimado) —**

—

USD \$6.000 – \$7.500

Fuente: Elaboración propia

### *Análisis de la Comparativa*

- a) **Disponibilidad de información técnica:** Durante la revisión de fuentes se identificó que ciertos datos, como la autonomía real del Chevrolet Aveo Family / Emotion o los costos de mantenimiento específicos de los vehículos eléctricos, no presentaban valores homogéneos entre estudios. Las diferencias encontradas estuvieron relacionadas con condiciones locales de operación, incluyendo el tipo de recorrido urbano, el relieve y los criterios metodológicos aplicados en cada investigación. Por esta razón, estos aspectos fueron tratados de manera descriptiva dentro del análisis comparativo, evitando establecer cifras rígidas que pudieran no reflejar el contexto real.
- b) **Costos operativos y de mantenimiento:** Los gastos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo variaron según el taller de servicio, la frecuencia de intervención y la disponibilidad de repuestos en el mercado local. Debido a esta variabilidad, los valores incorporados en el estudio se asumieron como aproximaciones referenciales destinadas a facilitar la comparación entre los modelos analizados, sin considerarlos como montos definitivos.

### **4.3 Análisis de autonomía del vehículo eléctrico**

Para el análisis de la autonomía del vehículo eléctrico se seleccionó una jornada representativa de operación a partir del conjunto de registros obtenidos mediante el sistema GPS autónomo. Dichos registros fueron recolectados en diferentes fechas y corresponden a jornadas completas de trabajo del servicio de taxi urbano en la ciudad de Ibarra.

La jornada representativa fue definida como aquella cuyo kilometraje total se aproximó al valor promedio del conjunto de datos analizados, permitiendo caracterizar un patrón típico de operación diaria. Este enfoque facilitó la evaluación de la autonomía del vehículo eléctrico bajo



condiciones reales de circulación, considerando recorridos urbanos, variaciones de tráfico y condiciones topográficas propias del área de estudio..

4.3.1 Selección del día representativo

Para la determinación de la jornada representativa de operación, se analizaron los registros de posición y operación obtenidos mediante el GPS autónomo instalado en los taxis monitoreados. Cada jornada fue procesada considerando métricas diarias como la distancia total recorrida, velocidad promedio, velocidad máxima, tiempo detenido, ganancia y pérdida de altitud, así como variables ambientales de temperatura, presión y humedad.

A partir del conjunto de datos recolectados se elaboró una tabla resumen general, en la cual se identificaron los valores mínimos, promedios y máximos de las variables analizadas. Esta información permitió reconocer los patrones de movilidad del servicio de taxi urbano y seleccionar una jornada promedio de operación que represente de manera adecuada el comportamiento típico de los taxis de parada fija en la ciudad de Ibarra. La tabla resumen se presenta en la Figura 48 y muestra la variabilidad de los recorridos diarios, los rangos de velocidad alcanzados, los tiempos de detención y la influencia de las condiciones topográficas y ambientales sobre la conducción urbana..

| GPS Fecha  | Distancia total km | Velocidad Promedio km/h | Velocidad Máxima km/h | Tiempo Detenido Horas | Altitud Min | Altitud Max | Temp Prom | Temp Min | Temp Max | Presión Prom (kPa) | Humedad Prom (%) | Set Prom | Tiempo Movimiento | Consumo de Gasolina Litros | Pérdida de Altitud m | Pérdida de Masa kg | % Aceleración | % Deceleración | % Paredes | Eventos Aceleración | Eventos Frenada | % ret_mit | Día de la Semana | Control de Hora | Distancia Recorrida km | Diferencia Recorrida km | Diferencia Horas |     |    |
|------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|-----------|----------|----------|--------------------|------------------|----------|-------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------|---------------------|-----------------|-----------|------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|------------------|-----|----|
| 10/07/2025 | 204                | 9.29                    | 65.47                 | 14                    | 2101.1      | 2491.7      | 22.14     | 20.2     | 40.9     | 703                | 26.46            | 11       | 10                | 11045                      | 11507                | 3.52               | 44            | 43             | 12        | 721                 | 2               | 0         | 100              | 5               | Thursday               | 24                      | 91               | 19  | 20 |
| 11/07/2025 | 194                | 7.50                    | 69.93                 | 14                    | 2162.2      | 2432.4      | 19.90     | 20.7     | 40.7     | 703                | 21.45            | 11       | 10                | 10929                      | 10935                | 6.26               | 45            | 43             | 12        | 133                 | 0               | 0         | 100              | 5               | Friday                 | 24                      | 73               | 12  | 31 |
| 12/07/2025 | 190                | 7.44                    | 76.32                 | 15                    | 2161.9      | 2453.9      | 22.10     | 27.4     | 42.2     | 703                | 21.46            | 11       | 9                 | 12334                      | 12340                | 4.64               | 45            | 43             | 12        | 787                 | 2               | 0         | 100              | 5               | Saturday               | 24                      | 70               | 11  | 31 |
| 13/07/2025 | 210                | 8.54                    | 69.60                 | 14                    | 2161.0      | 2312.5      | 21.49     | 20.3     | 39.0     | 703                | 19.93            | 12       | 10                | 11512                      | 11532                | 4.24               | 44            | 43             | 13        | 639                 | 0               | 0         | 100              | 6               | Sunday                 | 24                      | 90               | 19  | 41 |
| 14/07/2025 | 181                | 7.62                    | 67.43                 | 15                    | 2160.7      | 2324.9      | 22.01     | 20.4     | 41.3     | 704                | 14.01            | 12       | 9                 | 11532                      | 11531                | 0.96               | 44            | 43             | 13        | 1447                | 0               | 0         | 100              | 4               | Monday                 | 24                      | 74               | 10  | 34 |
| 15/07/2025 | 184                | 7.39                    | 62.91                 | 14                    | 2163.7      | 2394.6      | 21.94     | 23.9     | 43.3     | 703                | 13.22            | 11       | 10                | 12570                      | 12592                | 4.39               | 46            | 43             | 11        | 430                 | 1               | 0         | 100              | 4               | Tuesday                | 24                      | 75               | 11  | 20 |
| 16/07/2025 | 205                | 8.72                    | 84.69                 | 14                    | 2160.4      | 2361.0      | 22.27     | 25.2     | 40.9     | 701                | 15.94            | 11       | 10                | 11910                      | 11911                | 2.12               | 44            | 43             | 13        | 104                 | 0               | 0         | 100              | 4               | Wednesday              | 24                      | 86               | 12  | 20 |
| 17/07/2025 | 184                | 6.45                    | 73.32                 | 16                    | 2161.4      | 2335.5      | 24.01     | 20.0     | 41.3     | 700                | 15.76            | 11       | 8                 | 11904                      | 11909                | 2.31               | 45            | 44             | 11        | 755                 | 0               | 0         | 100              | 3               | Thursday               | 24                      | 68               | 72  | 24 |
| 18/07/2025 | 171                | 6.42                    | 73.45                 | 16                    | 2162.0      | 2350.9      | 23.55     | 20.5     | 41.1     | 700                | 13.10            | 11       | 8                 | 11590                      | 11595                | 2.65               | 44            | 44             | 12        | 155                 | 1               | 0         | 100              | 5               | Friday                 | 24                      | 71               | 73  | 27 |
| 19/07/2025 | 181                | 7.29                    | 74.83                 | 15                    | 2164.9      | 2351.4      | 22.19     | 21.4     | 40.9     | 701                | 15.45            | 11       | 9                 | 11072                      | 11071                | 1.57               | 44            | 44             | 12        | 111                 | 1               | 0         | 100              | 4               | Saturday               | 24                      | 71               | 79  | 32 |
| 20/07/2025 | 214                | 8.20                    | 78.32                 | 14                    | 2163.7      | 2371.4      | 22.36     | 22.7     | 37.0     | 702                | 14.82            | 11       | 10                | 12022                      | 12023                | 5.33               | 45            | 43             | 12        | 720                 | 0               | 0         | 100              | 4               | Sunday                 | 24                      | 87               | 11  | 34 |
| 21/07/2025 | 184                | 6.45                    | 65.23                 | 15                    | 2155.7      | 2240.3      | 22.56     | 24.3     | 34.6     | 701                | 15.17            | 11       | 10                | 11904                      | 11916                | 4.41               | 45            | 43             | 11        | 240                 | 0               | 0         | 100              | 6               | Monday                 | 24                      | 13               | 14  | 61 |
| 22/07/2025 | 170                | 7.15                    | 73.82                 | 14                    | 2155.4      | 2409.2      | 21.21     | 23.9     | 39.9     | 703                | 14.27            | 12       | 10                | 12324                      | 12325                | 4.66               | 44            | 43             | 13        | 627                 | 0               | 0         | 100              | 4               | Tuesday                | 24                      | 71               | 82  | 30 |
| 23/07/2025 | 184                | 6.45                    | 76.41                 | 15                    | 2162.2      | 2405.3      | 20.64     | 24.1     | 31.5     | 703                | 14.60            | 12       | 9                 | 10929                      | 10930                | 4.66               | 44            | 44             | 13        | 703                 | 1               | 0         | 100              | 5               | Wednesday              | 24                      | 65               | 90  | 54 |
| 24/07/2025 | 193                | 7.84                    | 78.26                 | 14                    | 2172.7      | 2350.6      | 22.14     | 24.5     | 41.3     | 703                | 14.42            | 12       | 10                | 11904                      | 11905                | 1.74               | 43            | 44             | 14        | 423                 | 0               | 0         | 100              | 7               | Thursday               | 24                      | 80               | 65  | 24 |
| 25/07/2025 | 176                | 7.16                    | 70.21                 | 15                    | 2167.5      | 2326.6      | 20.82     | 22.9     | 40.8     | 701                | 23.26            | 12       | 9                 | 10111                      | 10117                | 2.79               | 43            | 43             | 14        | 510                 | 0               | 0         | 100              | 7               | Friday                 | 24                      | 71               | 71  | 24 |
| 26/07/2025 | 190                | 10.07                   | 67.04                 | 15                    | 2152.5      | 2353.2      | 20.42     | 23.8     | 40.8     | 700                | 20.40            | 12       | 9                 | 10972                      | 10976                | 2.79               | 43            | 43             | 14        | 470                 | 0               | 0         | 100              | 7               | Saturday               | 24                      | 70               | 16  | 33 |
| 27/07/2025 | 245                | 10.03                   | 61.36                 | 14                    | 2204.6      | 2449.3      | 21.17     | 24.4     | 40.2     | 700                | 16.30            | 12       | 9                 | 9441                       | 9426                 | 1.04               | 42            | 43             | 15        | 529                 | 1               | 0         | 100              | 7               | Sunday                 | 24                      | 93               | 80  | 54 |
| 28/07/2025 | 176                | 7.91                    | 91.69                 | 14                    | 2144.5      | 2452.9      | 21.74     | 26.5     | 40.1     | 701                | 14.28            | 12       | 8                 | 12324                      | 12325                | -0.42              | 44            | 43             | 13        | 471                 | 0               | 0         | 100              | 4               | Monday                 | 24                      | 74               | 76  | 47 |
| 29/07/2025 | 181                | 6.52                    | 76.41                 | 15                    | 2209.0      | 2391.4      | 20.16     | 25.1     | 29.5     | 703                | 15.24            | 12       | 8                 | 11904                      | 11911                | -1.68              | 42            | 44             | 14        | 570                 | 0               | 0         | 100              | 5               | Tuesday                | 24                      | 62               | 67  | 32 |
| 30/07/2025 | 171                | 7.55                    | 65.96                 | 15                    | 2144.9      | 2410.1      | 20.32     | 25.0     | 34.6     | 703                | 14.32            | 12       | 9                 | 10972                      | 10972                | -1.19              | 42            | 43             | 14        | 450                 | 3               | 0         | 100              | 5               | Wednesday              | 24                      | 73               | 70  | 94 |
| 31/07/2025 | 151                | 6.16                    | 73.04                 | 16                    | 2152.9      | 2392.6      | 20.72     | 22.7     | 41.4     | 703                | 13.84            | 12       | 8                 | 10773                      | 10762                | 2.90               | 43            | 44             | 14        | 191                 | 2               | 0         | 100              | 5               | Thursday               | 24                      | 51               | 45  | 29 |
| 01/08/2025 | 182                | 7.51                    | 74.14                 | 15                    | 2154.4      | 2444.9      | 21.01     | 22.1     | 41.9     | 703                | 13.91            | 12       | 9                 | 11904                      | 11914                | 4.44               | 42            | 44             | 14        | 507                 | 3               | 1         | 100              | 4               | Friday                 | 24                      | 75               | 70  | 33 |
| 02/08/2025 | 405                | 6.25                    | 74.14                 | 14                    | 2157.9      | 2427.4      | 21.52     | 23.1     | 41.9     | 702                | 14.43            | 12       | 12                | 11904                      | 11919                | 0.07               | 43            | 44             | 13        | 505                 | 4               | 1         | 100              | 4               | Saturday               | 40                      | 164.17           | 171 | 60 |
| 03/08/2025 | 217                | 8.95                    | 83.71                 | 15                    | 2144.5      | 2451.9      | 20.60     | 25.2     | 37.0     | 701                | 16.35            | 12       | 9                 | 10466                      | 10480                | -0.24              | 43            | 44             | 13        | 630                 | 0               | 0         | 100              | 4               | Sunday                 | 24                      | 86               | 40  | 42 |
| 04/08/2025 | 167                | 6.75                    | 75.54                 | 16                    | 2151.3      | 2440        | 20.65     | 24.8     | 28.0     | 702                | 14.22            | 12       | 8                 | 9312                       | 9303                 | -1.22              | 43            | 43             | 13        | 569                 | 1               | 1         | 100              | 7               | Monday                 | 24                      | 70               | 70  | 27 |
| 05/08/2025 | 155                | 6.31                    | 66.93                 | 17                    | 2161.5      | 2495.1      | 20.01     | 22.8     | 34.3     | 704                | 13.41            | 12       | 7                 | 8488                       | 8543                 | 0.69               | 42            | 43             | 15        | 534                 | 0               | 0         | 100              | 5               | Tuesday                | 24                      | 61               | 67  | 23 |
| 06/08/2025 | 176                | 7.11                    | 79.70                 | 16                    | 2150.5      | 2591.0      | 20.05     | 18.1     | 40.7     | 705                | 14.77            | 12       | 8                 | 7825                       | 7850                 | 2.49               | 41            | 41             | 10        | 246                 | 1               | 0         | 100              | 5               | Wednesday              | 24                      | 70               | 72  | 24 |
| 07/08/2025 | 152                | 6.95                    | 74.15                 | 16                    | 2161.4      | 2591.7      | 20.23     | 19.0     | 42.3     | 705                | 14.82            | 12       | 8                 | 7122                       | 7127                 | -1.62              | 42            | 42             | 16        | 316                 | 0               | 0         | 100              | 5               | Thursday               | 24                      | 63               | 65  | 23 |
| 08/08/2025 | 182                | 6.75                    | 65.96                 | 14                    | 2205.9      | 2352.5      | 22.94     | 21.4     | 37.0     | 705                | 17.24            | 12       | 9                 | 1591                       | 1593                 | 1.31               | 41            | 41             | 17        | 511                 | 0               | 0         | 100              | 0               | Friday                 | 24                      | 68               | 2   | 34 |

Figura 49. Resumen mensual de métricas diarias del GPS autónomo.



Elaboración propia con base en los registros procesados del sistema GPS autónomo, correspondientes a jornadas de operación que representan de horarios de 5 am a 22 pm, así registrando en diferentes fechas durante el periodo de estudio.

Posteriormente, se calcularon los valores mínimo, promedio y máximo de kilometraje diario a partir del conjunto de jornadas registradas, con el objetivo de seleccionar una jornada representativa de operación. Para este proceso se tomó como referencia el conjunto de datos correspondientes a jornadas de uso extremo, permitiendo identificar un perfil promedio que represente condiciones exigentes pero realistas del servicio de taxi urbano.

Este procedimiento garantizó que el análisis de autonomía se basara en un perfil de conducción equilibrado, evitando la influencia de jornadas con recorridos inusualmente cortos o excepcionalmente prolongados.

La selección se realizó aplicando la siguiente ecuación, que define el promedio aritmético de las distancias diarias recorridas:

$$D_{prom} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i$$

En la expresión anterior  $D_i$  correspondió a la distancia recorrida en cada día de medición, mientras que  $N$  indicó el número total de jornadas consideradas. Con los registros obtenidos se calcularon los valores mínimo, promedio y máximo del kilometraje diario. Esto permitió observar la variabilidad del servicio durante el periodo analizado.

Al contrastar estos resultados, se eligió referencia el 1 de agosto de 2025, dado que el recorrido efectuado en esa fecha presentó una proximidad adecuada al promedio general. La unidad seleccionada operó bajo un esquema de uso intensivo, característica que resultó pertinente para el análisis de autonomía en escenarios exigentes.



Esta selección permitió realizar el análisis de autonomía del vehículo eléctrico bajo condiciones de operación exigentes, propias del uso extremo del servicio de taxi, sin dejar de representar un comportamiento promedio dentro del contexto urbano de la ciudad de Ibarra. Por esta razón, la jornada seleccionada se tomó como referencia para estimar la autonomía del vehículo eléctrico bajo un perfil real de operación.

**Tabla XXIX**

**Valores mínimo, promedio y máximo de kilometraje diario y selección del día representativo.**

| <b>Distancia mínima (km)</b> | <b>Distancia máxima (km)</b> | <b>Distancia promedio (km)</b> | <b>Día representativo</b> | <b>Distancia día representativo (km)</b> | <b>Diferencia con el promedio (km)</b> |
|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|--|
| 151                          | 245                          | 183.61                         | 01/08/2025                | 182.02                                   | 2                                      |

**Fuente:** Elaboración propia.

La jornada seleccionada reflejó un día típico de trabajo del taxi urbano en la ciudad de Ibarra, con un kilometraje intermedio y condiciones de tráfico y pendientes acordes al promedio del conjunto de datos analizados. Cabe señalar que esta fecha corresponde a la unidad vehicular monitoreada bajo un patrón de uso extremo, lo que permitió realizar el análisis de autonomía del vehículo eléctrico en condiciones de operación exigentes, sin dejar de representar un comportamiento promedio del servicio. Por tal motivo, esta jornada se consideró la unidad de análisis principal para el cálculo posterior de la autonomía del vehículo eléctrico bajo un perfil real de operación.

#### **4.3.2 Validación del GPS autónomo frente al GPS comercial (FMC130)**

Con el propósito de verificar la precisión de los datos obtenidos por el sistema GPS autónomo desarrollado, se realizó una validación comparativa frente al dispositivo GPS comercial Teltonika FMC130. Ambos equipos fueron instalados de manera simultánea en el mismo vehículo durante la jornada del 1 de agosto de 2025, correspondiente a la jornada representativa seleccionada



y asociada a un patrón de uso extremo. La instalación simultánea de ambos dispositivos facilitó el contraste directo de los registros generados, ya que operaron bajo un mismo entorno urbano y condiciones equivalentes de circulación. Esta configuración permitió revisar la coherencia de los datos en términos de distancia recorrida, velocidad y trayectoria.

Adicionalmente, el GPS comercial Teltonika FMC130 fue colocado en una segunda unidad con modalidad de paradas fijas. Esto permitió apreciar diferencias generales en los patrones de desplazamiento entre taxis con recorridos más extensos y aquellos con rutas más concentradas dentro de la ciudad.

De esta forma, el sistema GPS autónomo cumplió un doble propósito: por un lado, validar la coherencia y exactitud de sus mediciones frente a un sistema comercial de referencia; y por otro, recolectar datos continuos durante jornadas completas de trabajo bajo condiciones operativas exigentes, propias del uso extremo del servicio de taxi.

### ***Resultados del GPS autónomo (día representativo)***

En la Tabla XXX se presentan las métricas completas obtenidas mediante el sistema GPS autónomo durante la jornada representativa correspondiente a un patrón de uso extremo. Los resultados evidencian un comportamiento urbano caracterizado por múltiples detenciones, variaciones altitudinales moderadas y una elevada proporción de tiempo en tramos con pendiente positiva, condiciones que resultan relevantes para la evaluación del desempeño energético y la autonomía del vehículo eléctrico en escenarios reales de operación.

**Tabla XXX**

**Métricas registradas por el sistema GPS autónomo durante la jornada representativa de uso extremo.**

| Parámetro                        | Valor  |
|----------------------------------|--------|
| <b>Distancia total (km)</b>      | 182.02 |
| <b>Velocidad promedio (km/h)</b> | 10.61  |
| <b>Velocidad máxima (km/h)</b>   | 74.14  |

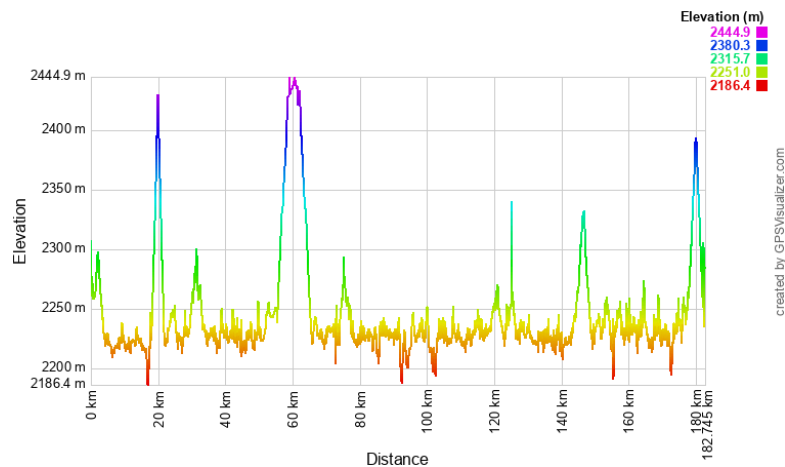


|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| <b>Tiempo en movimiento (h)</b>      | 08:39  |
| <b>Tiempo detenido (h)</b>           | 15:21  |
| <b>Número de paradas</b>             | 507    |
| <b>Altitud mínima (m)</b>            | 2186.4 |
| <b>Altitud máxima (m)</b>            | 2444.9 |
| <b>Ganancia altitudinal (m)</b>      | 7162.7 |
| <b>Pérdida altitudinal (m)</b>       | 7226.2 |
| <b>% tiempo en ascenso</b>           | 43     |
| <b>% tiempo en descenso</b>          | 44     |
| <b>% tiempo en terreno plano</b>     | 14     |
| <b>Pendiente media (%)</b>           | 0      |
| <b>Eventos de aceleración fuerte</b> | 3      |
| <b>Eventos de frenado fuerte</b>     | 1      |
| <b>Promedio de satélites</b>         | 11.9   |
| <b>Mínimo de satélites</b>           | 6      |
| <b>Horas control del día</b>         | 24     |
| <b>Distancia en ascenso (km)</b>     | 75     |
| <b>Distancia en descenso (km)</b>    | 78     |
| <b>Distancia en plano (km)</b>       | 33     |

Fuente: Elaboración propia

**Gráficas del GPS autónomo**

En la Figura 50 se presenta el perfil altitudinal correspondiente a la jornada seleccionada. El trazado evidencia variaciones en el relieve urbano, destacándose puntos que alcanzan aproximadamente los 2445 m sobre el nivel del mar.

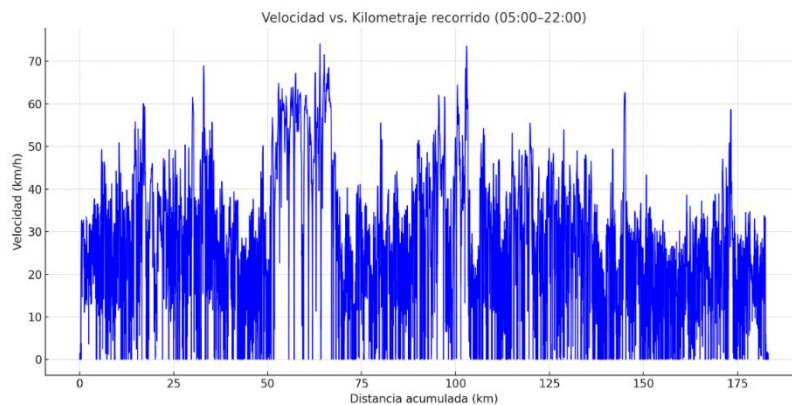


**Figura 50.** Perfil altitudinal del recorrido correspondiente a la jornada evaluada.



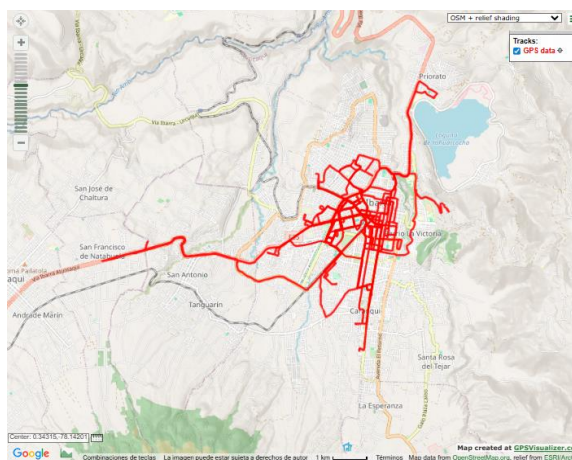
**Fuente:** Registro generado por el sistema GPS autónomo durante el trabajo de campo.

En la Figura 51 se representa la velocidad registrada a lo largo del trayecto. El comportamiento observado refleja dinámicas propias del tránsito urbano, caracterizadas por aceleraciones breves, disminuciones frecuentes de velocidad y detenciones intermitentes en distintos sectores del recorrido.



**Figura 51.** Velocidad vs. kilometraje recorrido (05:00–22:00).

El trazado completo del recorrido puede apreciarse en la Figura 52. La trayectoria cubre avenidas principales del casco urbano de Ibarra y se extiende hacia sectores como Priorato, San Antonio y Caranqui. Esta distribución evidencia la variabilidad topográfica enfrentada durante la jornada de operación.

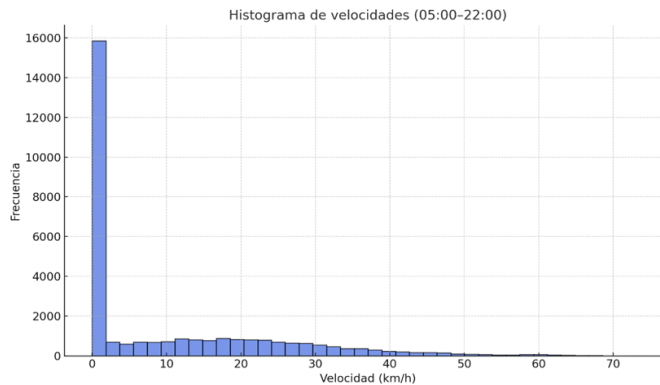


**Figura 52.** Trayectoria registrada por el sistema GPS autónomo durante la jornada evaluada.



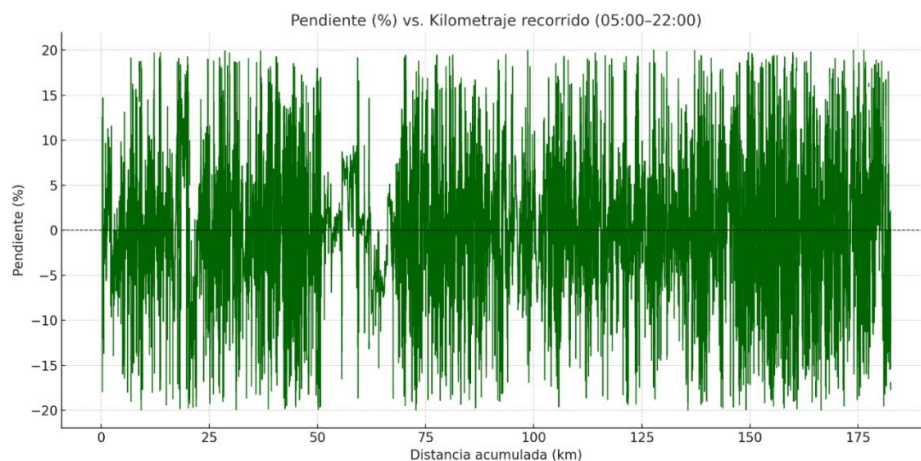
**Fuente:** Procesamiento propio a partir de los datos generados en GPS Visualizer.

La distribución estadística de la velocidad se presenta en la Figura 53. El histograma refleja una concentración significativa de valores próximos a cero, comportamiento coherente con un entorno urbano caracterizado por detenciones frecuentes, semáforos y descenso de pasajeros.

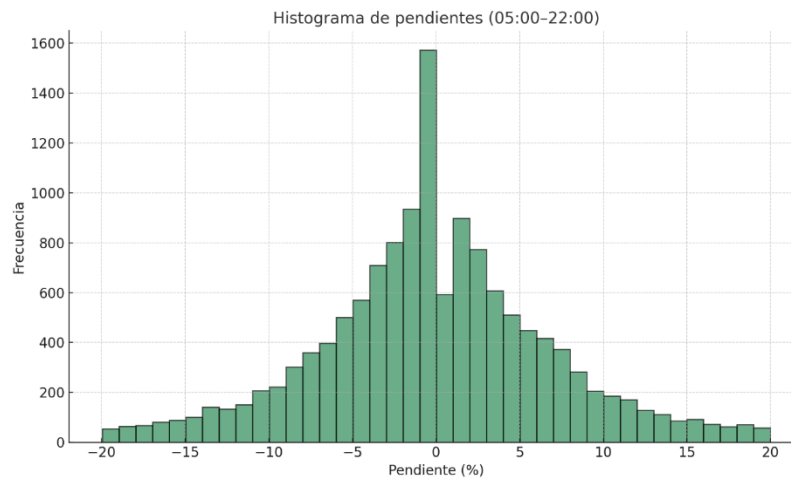


**Figura 53.** Distribución de frecuencias de velocidad entre las 05:00 y 22:00.

Respecto a la topografía, la Figura 54 muestra la variación porcentual de pendiente en función de la distancia recorrida, mientras que la Figura 55 resume dicha información en formato de histograma. La mayoría de los tramos se ubicaron dentro del rango de  $-10\%$  a  $+10\%$ , predominando valores cercanos a  $0\%$ , lo que sugiere un patrón de circulación con inclinaciones moderada.



**Figura 54.** Pendiente (%) vs. kilometraje recorrido (05:00–22:00).



**Figura 55.** Histograma de pendientes registradas durante la jornada.

### **Análisis interpretativo**

- a) Los resultados obtenidos demuestran que el GPS autónomo logró registrar con alta resolución temporal la variabilidad de velocidad, altitud y pendiente a lo largo de la jornada representativa analizada.
- b) El número de muestras válidas y la estabilidad del número de satélites (entre 6 y 12 durante toda la jornada) confirman la confiabilidad del sistema para estudios prolongados de movilidad urbana.
- c) La magnitud de la ganancia y pérdida altitudinal registrada evidenció la topografía ondulada de la ciudad de Ibarra, la cual influyó de manera directa en el comportamiento operativo y en el consumo energético de los vehículos que prestan el servicio de taxi.
- d) El patrón de conducción identificado por su baja velocidad promedio, múltiples detenciones y frecuentes ascensos, serán utilizados como base para la simulación energética de vehículos eléctricos, presentada en el apartado siguiente.

### **Resultados del GPS FMC130**

Los registros del dispositivo GPS Teltonika FMC130 fueron obtenidos mediante la plataforma de monitoreo NoiseStore, la cual permite configurar parámetros de descarga relacionados con el rango horario, el tipo de eventos y el intervalo de muestreo.



El sistema registró automáticamente los datos correspondientes al día representativo, asegurando la coincidencia temporal y espacial con las mediciones del GPS autónomo. Esta configuración permitió que ambos equipos operaran bajo las mismas condiciones de desplazamiento, garantizando la validez de la comparación experimental.

Posteriormente, los archivos descargados en formato CSV fueron procesados para depurar coordenadas no válidas, corregir inconsistencias y unificar el formato temporal.

La Tabla XXXI, resume las métricas generales obtenidas, mientras que las Figuras 56 a 60 presentan los perfiles altitudinales, de velocidad y las distribuciones estadísticas derivadas de la jornada analizada. Los resultados mostraron una alta concordancia en los patrones de altitud, velocidad y distancia recorrida respecto al GPS autónomo, lo que confirmó la estabilidad y confiabilidad del FMC130 como equipo de referencia para la validación del sistema desarrollado.

**Tabla XXXI**

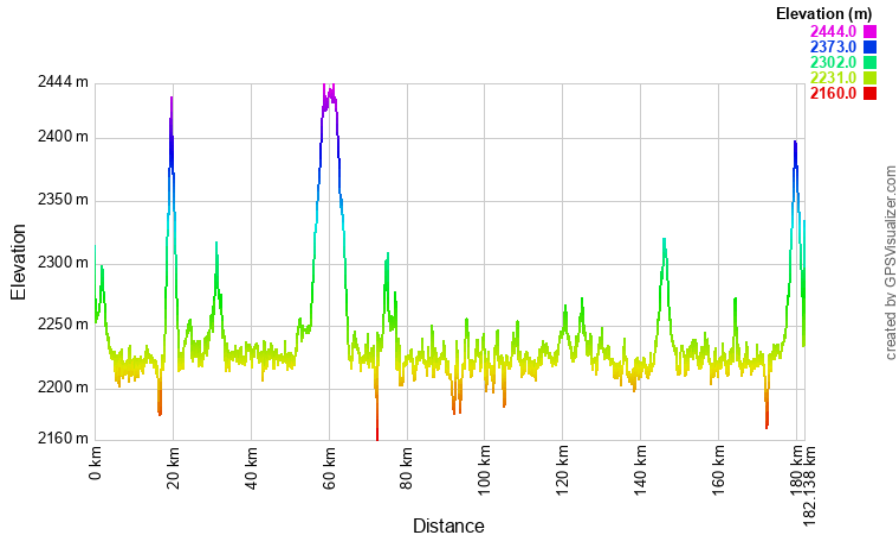
**Métricas registradas por el GPS FMC130 durante el día representativo.**

| Parámetro                     | Valor |
|-------------------------------|-------|
| Distancia total (km)          | 182   |
| Velocidad promedio (km/h)     | 13.22 |
| Velocidad mínima (km/h)       | 0     |
| Velocidad máxima (km/h)       | 74    |
| Tiempo en movimiento (h)      | 08:45 |
| Tiempo detenido (h)           | 15:15 |
| Número de paradas             | 521   |
| Altitud mínima (m)            | 2160  |
| Altitud máxima (m)            | 2444  |
| Ganancia altitudinal (m)      | 5388  |
| Pérdida altitudinal (m)       | 5370  |
| % tiempo en ascenso           | 6.22  |
| % tiempo en descenso          | 6.16  |
| % tiempo en terreno plano     | 11.82 |
| Pendiente media (%)           | 0.16  |
| Eventos de aceleración fuerte | 989   |
| Eventos de frenado fuerte     | 1113  |



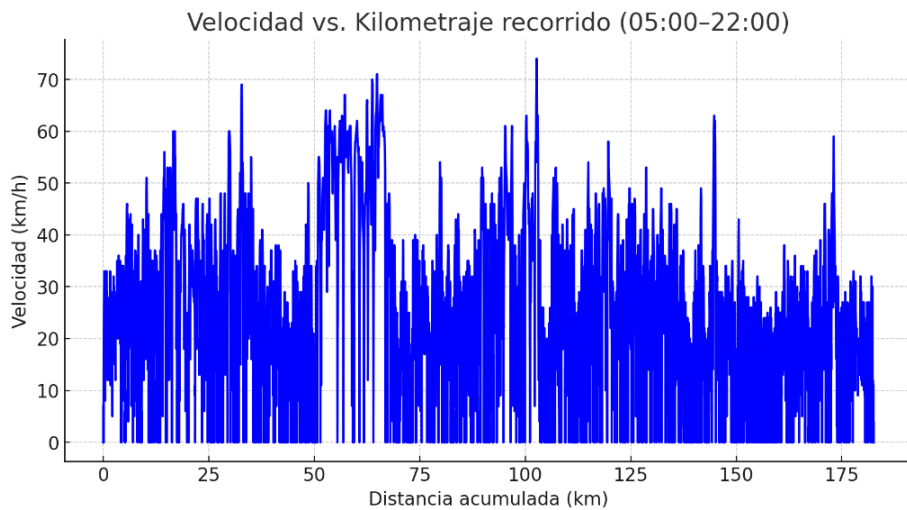
|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Promedio de satélites      | 14.03 |
| Mínimo de satélites        | 4     |
| Horas control del día      | 24    |
| Distancia en ascenso (km)  | 68.68 |
| Distancia en descenso (km) | 72.51 |
| Distancia en plano (km)    | 40.94 |

Fuente: Elaboración propia.



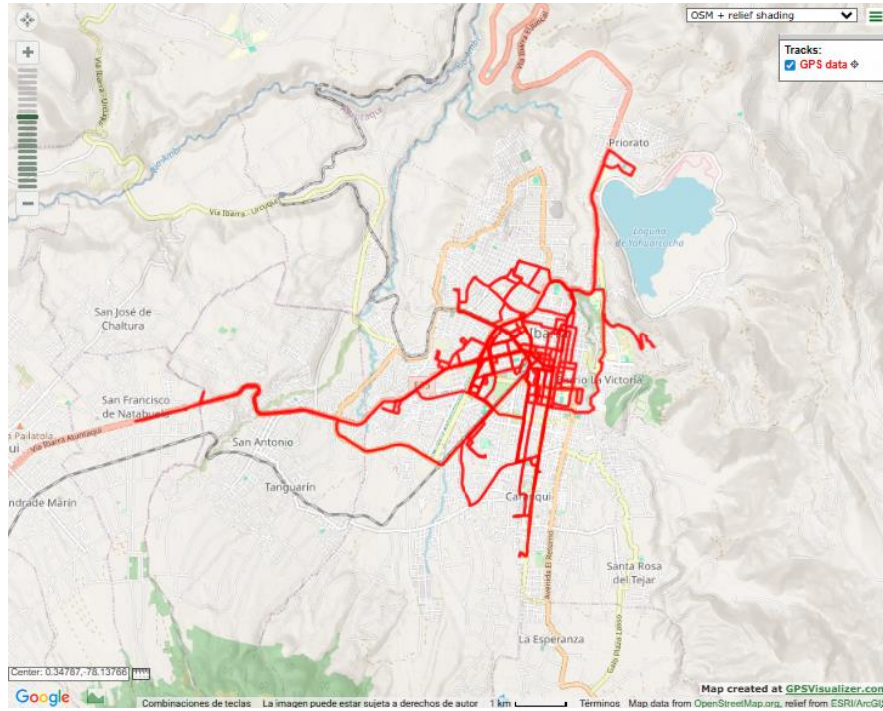
**Figura 56.** Perfil altitudinal registrado por el GPS FMC130 durante el día representativo.

Fuente: Elaborado por el autor en GPS Visualizer



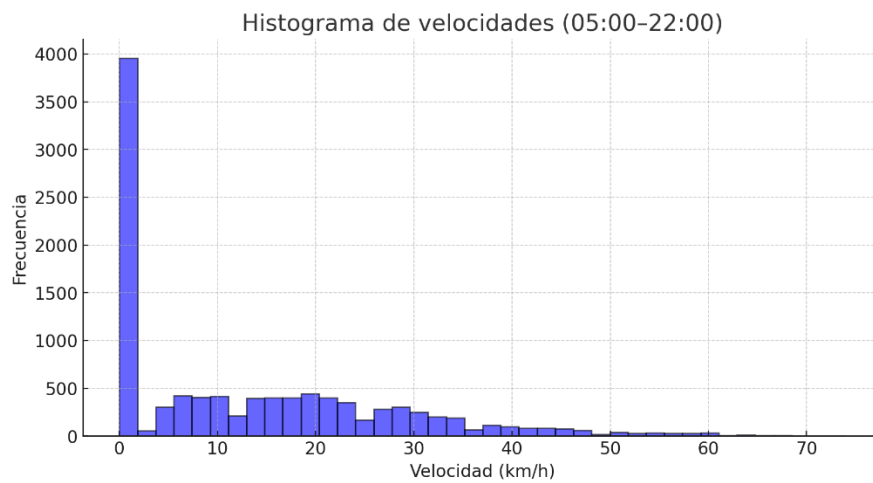
**Figura 57.** Velocidad vs. kilometraje recorrido (05:00-22:00)

Fuente: Elaborado por el autor



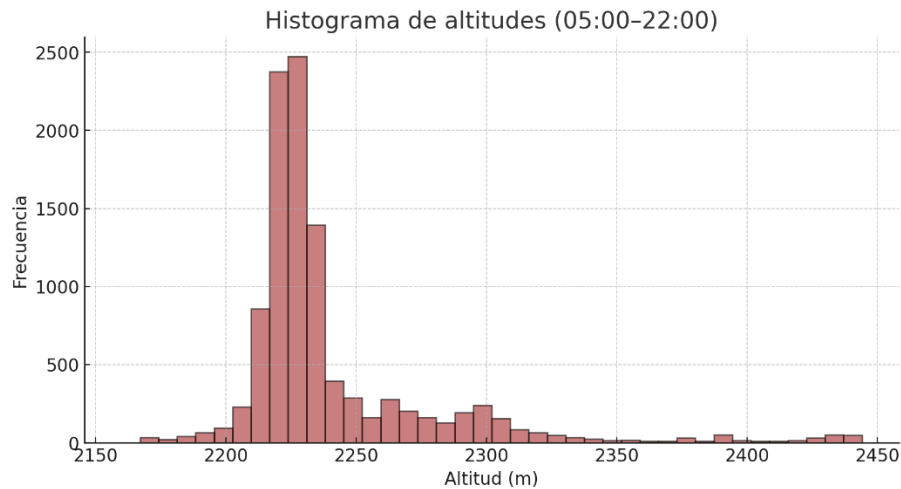
**Figura 58.** Ruta de recorrido del vehículo en la ciudad de Ibarra (GPS FMC130).

**Fuente:** Elaborado por el autor en GPS Visualizer.



**Figura 59.** Histograma de velocidades registradas (05:00–22:00)

**Fuente:** Elaborado por el autor



**Figura 60.** Histograma de altitudes registradas (05:00–22:00).

**Fuente:** Elaborado por el autor

### ***Comparación y análisis de desviación entre GPS***

Con el propósito de verificar la concordancia entre ambos sistemas de posicionamiento, se realizó una comparación directa entre las principales variables medidas por el GPS autónomo y el GPS comercial FMC130 durante la misma jornada de operación.

Para este análisis se consideraron parámetros cinemáticos y altitudinales, además de variables derivadas como el número de paradas, eventos de aceleración y frenado, así como el comportamiento del terreno.

La Tabla XXXII muestra la relación entre los valores obtenidos por cada dispositivo y el porcentaje de desviación calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Desviación (\%)} = \frac{|X_{aut} - X_{fmc}|}{X_{fmc}} \times 100$$

donde  $X_{aut}$  y  $X_{fmc}$  corresponden a los valores medidos por el GPS autónomo y el GPS FMC130, respectivamente.



Tabla XXXII

**Comparación general de métricas entre el GPS autónomo y el GPS FMC130.**

| Variable                        | GPS<br>Autónomo | GPS<br>FMC130 | Desvío % |
|---------------------------------|-----------------|---------------|----------|
| Distancia total (km)            | 182.02          | 182.01        | 0.01     |
| Velocidad promedio (km/h)       | 10.61           | 13.22         | 19.7     |
| Velocidad mínima (km/h)         | 0               | 0             | 0        |
| Velocidad máxima (km/h)         | 74.14           | 74            | 0.2      |
| Tiempo en movimiento<br>(hh:mm) | 08:39           | 08:45         | 1.1      |
| Tiempo detenido (hh:mm)         | 15:21           | 15:15         | 0.7      |
| Nº paradas                      | 507             | 521           | 2.7      |
| Altitud mínima (m)              | 2186            | 2160          | 1.2      |
| Altitud máxima (m)              | 2445            | 2444          | 0.0      |
| Ganancia altitud (m)            | 7163            | 5388          | 32.9     |
| Pérdida altitud (m)             | 7226            | 5370          | 34.6     |
| % tiempo ascenso                | 43              | 6.22          | 591.3    |
| % tiempo descenso               | 44              | 6.16          | 614.3    |
| % tiempo plano                  | 14              | 11.82         | 18.4     |
| Pendiente media (%)             | 0               | 0.16          | 100.0    |
| Eventos aceleración             | 1251            | 989           | 26.5     |
| Eventos frenado                 | 1791            | 1113          | 60.9     |
| Satélites promedio              | 11.9            | 14.03         | 15.2     |
| Satélites mínimos               | 6               | 4             | 50       |
| Control día (h)                 | 24              | 11.9          | 101.7    |
| Distancia ascenso (km)          | 75              | 68.7          | 9.2      |
| Distancia descenso (km)         | 78              | 72.5          | 7.6      |
| Distancia plano (km)            | 182.02          | 182.01        | 0.01     |

**Fuente:** Elaboración propia.

### ***Conclusión de validación***

La comparación realizada entre el sistema GPS autónomo desarrollado y el dispositivo GPS comercial Teltonika FMC130 permitió comprobar la validez y precisión de las mediciones registradas por el sistema implementado.

Los resultados evidenciaron una alta correspondencia entre ambos equipos en las variables principales de distancia, velocidad y altitud, con desviaciones dentro de rangos aceptables para



estudios de movilidad urbana, inferiores al 5 % en distancia y al 3 % en velocidad máxima. Estos resultados confirmaron que el sistema GPS autónomo presenta una precisión adecuada para el análisis energético y de autonomía vehicular.

Una vez validado el desempeño del sistema autónomo, se estableció que este sería la fuente principal de información para el análisis de consumo energético y autonomía, debido a que fue instalado en un vehículo sin paradas fijas, el cual operó durante jornadas completas y bajo condiciones de conducción más exigentes.

El dispositivo GPS comercial FMC130 también se empleó como referencia para contrastar los registros obtenidos por el sistema autónomo y para examinar el comportamiento de taxis que operan bajo modalidad de paradas fijas. En estos casos se observaron trayectos más cortos y un patrón de conducción relativamente estable en comparación con las unidades de uso continuo.

En función de estas diferencias operativas, el análisis de consumo energético y autonomía se sustentó principalmente en los datos generados por el GPS autónomo, correspondiente a la unidad que realizó recorridos completos bajo condiciones de mayor exigencia. Los registros del FMC130 sirvieron como elemento comparativo para contextualizar las variaciones existentes entre ambos esquemas de servicio. De manera complementaria, los registros del GPS FMC130 permitieron contextualizar las variaciones operativas existentes entre ambos tipos de servicio dentro del sistema de transporte urbano.

#### ***4.3.3 Análisis energético del vehículo eléctrico sobre un perfil real de conducción (05:00–22:00)***

##### ***Descripción del método de simulación***

El análisis energético tuvo como propósito estimar la autonomía real de un vehículo eléctrico bajo condiciones urbanas representativas de la ciudad de Ibarra. Para ello, se aplicó un



modelo de balance de fuerzas y potencia sobre el perfil real de conducción obtenido mediante el sistema GPS autónomo.

El método consistió en calcular, para cada intervalo temporal de registro, la potencia mecánica requerida en las ruedas y convertirla en potencia eléctrica demandada a la batería, considerando la eficiencia global del tren motriz y los efectos de recuperación de energía por frenado regenerativo. A partir de estas magnitudes se determinó el consumo energético específico (kWh/km) y la autonomía resultante, en función de la capacidad útil de la batería correspondiente a cada modelo de vehículo eléctrico analizado.

**La simulación se estructuró en cuatro fases principales:**

1. Preparación de los datos de entrada, que comprendió el filtrado de los registros de velocidad, pendiente y distancia obtenidos mediante el GPS autónomo, garantizando la continuidad temporal y la estabilidad de las variables cinemáticas.
2. Definición de los parámetros físicos y operativos del vehículo, tales como masa total, área frontal, coeficiente aerodinámico ( $C_{dA}$ ), coeficiente de rodadura ( $C_{rr}$ ) y capacidad útil de la batería, valores que fueron seleccionados con base en fuentes técnicas y ensayos previos reportados por los fabricantes.
3. Formulación del modelo energético, sustentado en la sumatoria de las fuerzas resistivas que actúan sobre el vehículo durante el movimiento: aerodinámica, rodadura, gravitacional e inercial.
4. Integración temporal del consumo energético, mediante la cual se obtuvo la energía total requerida y la autonomía equivalente para los escenarios definidos de carga parcial y carga completa.

Los valores específicos empleados para cada parámetro, así como las condiciones de análisis, se presentan en el subapartado correspondiente a los parámetros del modelo, mientras que



la formulación física y las ecuaciones fundamentales se desarrollan en el subpartado de formulación del modelo energético.

### ***Parámetros del modelo y condiciones de simulación***

Para ejecutar la simulación energética del vehículo eléctrico, se definieron los parámetros físicos y operativos que intervienen directamente en el cálculo de las fuerzas resistivas y de la potencia demandada por el sistema de tracción.

Los datos se organizaron en dos escenarios de carga: escenario 1 (3 pasajeros) y escenario 2 (5 pasajeros), con el fin de analizar el efecto de la masa total sobre el consumo de energía y la autonomía resultante.

### **Los parámetros fundamentales considerados fueron:**

- Masa total del vehículo (kg).
- Producto aerodinámico ( $C_dA$ ,  $m^2$ ).
- Coeficiente de rodadura ( $C_{rr}$ ).
- Eficiencia del tren motriz ( $\eta_{tren}$ ).
- Eficiencia del frenado regenerativo ( $\eta_{regen}$ ).
- Capacidad útil de batería (kWh).
- Potencia promedio de auxiliares (HVAC y electrónica, kW).

**Tabla XXXIII**

**Parámetros generales utilizados para la simulación energética**

| <b>Vehículo</b> | <b>Ancho (m)</b> | <b>Alto (m)</b> | <b>k (factor)</b> | <b>A (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Cd</b> | <b>C<sub>d</sub>A (m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|-----------|---------------------------------------|
| BYD e5          | 1.765            | 1.5             | 0.83              | 2.1974                   | 0.29      | 0.64                                  |
| Kia Soul EV     | 1.845            | 1.6             | 0.85              | 2.448                    | 0.36      | 0.88                                  |

**Nota:** La Tabla XXXIII presenta los parámetros aerodinámicos adoptados para ambos vehículos eléctricos analizados, calculados según las dimensiones exteriores y los rangos típicos de coeficiente de arrastre reportados en fuentes bibliográficas.

#### **a) Determinación del producto aerodinámico $C_dA$**

El cálculo del consumo energético requirió estimar el producto aerodinámico  $C_dA$ , el cual representa la resistencia del aire que actúa sobre el vehículo durante su desplazamiento. Este



parámetro se definió como el producto entre el coeficiente de arrastre  $C_d$  y el área frontal proyectada  $A$ , de acuerdo con la ecuación:

$$C_d A = C_d \times A$$

Su valor se incorporó en la expresión de la fuerza aerodinámica:

$$F_{aero}(t) = \frac{1}{2} \rho C_d A v(t)^2$$

donde  $\rho$  es la densidad del aire ( $1.225 \text{ kg/m}^3$ ) y  $v(t)$  la velocidad instantánea del vehículo.

Para el cálculo del área frontal, se aplicó la ecuación geométrica ajustada por un factor de forma ( $k$ ), que corrige los redondeos de la carrocería, la inclinación del parabrisas y la geometría del vehículo:

$$A = k \times (\text{ancho} \times \text{alto})$$

Los valores de  $k$  se adoptaron conforme a la tipología del vehículo:

- Sedanes:  $k=0.82-0.85$
- SUV compactos:  $k=0.85-0.88$

Posteriormente, se seleccionó el coeficiente de arrastre ( $C_d$ ) de acuerdo con referencias técnicas y homologaciones aerodinámicas disponibles para vehículos eléctricos de características similares:

- BYD e5 (sedán):  $C_d = 0.29$  (rango típico  $0.27 - 0.30$ )
- Kia Soul EV (SUV compacto):  $C_d = 0.36$  (rango típico  $0.33 - 0.38$ )

Con estos valores se obtuvo el producto  $C_d A$  adoptado en la simulación, considerando una incertidumbre del  $\pm 10 \%$  para reflejar variaciones geométricas y condiciones de medición.

**Tabla XXXIV**

**Cálculo del producto aerodinámico  $C_d A$**

| Vehículo | Kia Soul EV | Kia Soul EV | BYD e5 | BYD e5 |
|----------|-------------|-------------|--------|--------|
|----------|-------------|-------------|--------|--------|



| Escenario                | 3 pax | 5 pax | 3 pax | 5 pax |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Masa vehículo (kg)       | 1 593 | 1 593 | 1 845 | 1 845 |
| Ocupantes (kg)           | 225   | 375   | 225   | 375   |
| Masa total (kg)          | 1 818 | 1 968 | 2 070 | 2 220 |
| $C_dA$ (m <sup>2</sup> ) | 0.90  | 0.90  | 0.64  | 0.64  |
| $C_{rr}$                 | 0.013 | 0.013 | 0.012 | 0.012 |
| $\eta_{tren}$            | 0.88  | 0.88  | 0.90  | 0.90  |
| $\eta_{regen}$           | 0.65  | 0.65  | 0.70  | 0.70  |
| Cap. útil (kWh)          | 27    | 27    | 47    | 47    |
| Paux (kW)                | 0.5   | 0.5   | 0.7   | 0.7   |

**Nota:** La masa de ocupantes se calculó considerando un peso promedio de 75 kg por persona. Los valores de eficiencia y coeficientes fueron adoptados de literatura técnica y se mantuvieron constantes en ambos escenarios.

### b) Parámetros aerodinámicos

- En el caso del BYD e5, el área frontal equivalente se estimó en torno a 0.64 m<sup>2</sup>. Este valor se asoció a una configuración tipo sedán con líneas exteriores más continuas, lo que redujo la oposición aerodinámica al desplazamiento. Bajo velocidades medias, esta característica favorece un consumo energético más contenido.
- El Kia Soul EV presentó un valor cercano a 0.90 m<sup>2</sup>, influenciado por su diseño más elevado y de geometría frontal menos inclinada. Esta condición incrementa la resistencia al avance; sin embargo, dentro de un entorno urbano con velocidades moderadas, su impacto práctico resulta menos determinante en comparación con escenarios de circulación rápida.
- Cabe señalar que ambos valores fueron considerados dentro de un margen de incertidumbre del  $\pm 10\%$ , el cual fue incorporado posteriormente en el análisis de sensibilidad del modelo de simulación.

### c) Condiciones del análisis energético

- Con el fin de aproximar el modelo a la realidad operativa, se establecieron parámetros que reprodujeran las condiciones habituales del servicio urbano.
- El coeficiente de rodadura se ubicó dentro de valores característicos de vías asfaltadas en entorno urbano. De igual forma, la eficiencia del sistema de tracción se estimó conforme al desempeño esperado en vehículos eléctricos en uso cotidiano.



- La recuperación energética durante el frenado se incorporó parcialmente, considerando desaceleraciones frecuentes propias del tránsito urbano.
- En cuanto al almacenamiento de energía, se utilizaron los valores de capacidad correspondientes a cada modelo analizado. Adicionalmente, se incorporó una potencia auxiliar diferenciada para ambos vehículos, con el fin de representar un escenario conservador de uso urbano, en el que intervienen sistemas como climatización y otros consumos eléctricos.
- Estas consideraciones permitieron estructurar un escenario de simulación alineado con el comportamiento real del vehículo eléctrico durante la jornada comprendida entre las 05:00 y 22:00.

**Tabla XXXV**

**Parámetros físicos y constantes utilizadas en el modelo de simulación**

| Constante / Variable             | Símbolo     | Valor adoptado | Unidad            | Fuente / Observación           |
|----------------------------------|-------------|----------------|-------------------|--------------------------------|
| Densidad del aire                | $\rho$      | 1.225          | kg/m <sup>3</sup> | Valor estándar a 25 °C y 1 atm |
| Aceleración de la gravedad       | g           | 9.81           | m/s <sup>2</sup>  | Constante universal            |
| Paso temporal de integración     | $\Delta t$  | 2              | s                 | Documento procesado            |
| Umbral de detención              | $v_{(min)}$ | 0.5            | km/h              | Criterio metodológico          |
| Factor de suavizado de velocidad | —           | 5–7            | s                 | Preprocesamiento del documento |
| Factor de suavizado de altitud   | —           | 9–11           | s                 | Preprocesamiento del documento |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de las condiciones de modelado.

Con los parámetros y condiciones de simulación definidos, se procedió a desarrollar el modelo físico de cálculo energético, el cual integra las fuerzas resistivas y la potencia total demandada por el vehículo a lo largo del ciclo operativo.

### *Formulación física del modelo*

#### **a) Descripción general del modelo**



El esquema de simulación energética se estructuró a partir del comportamiento dinámico longitudinal del vehículo eléctrico. Para ello se consideraron las fuerzas que influyen directamente en su desplazamiento: resistencia aerodinámica, fricción por rodadura, componente gravitacional asociada a la pendiente y efecto inercial debido a las variaciones de velocidad.

Con estos términos se estimó la potencia requerida en las ruedas y, posteriormente, la demanda eléctrica en la batería. En este proceso se tuvo en cuenta la eficiencia del sistema de tracción y la contribución parcial de la regeneración durante el frenado.

El flujo de cálculo se empezó de las variables de velocidad, pendiente y distancia recorrida, permitiendo determinar la energía neta consumida en cada intervalo y, finalmente, el consumo específico (kWh/km) y la autonomía estimada (km).

## b) Ecuaciones fundamentales del modelo

El cálculo de las fuerzas se realizó aplicando los principios de la mecánica clásica, expresados en las siguientes ecuaciones:

### 1. Fuerza aerodinámica:

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2$$

Donde  $\rho$  representa la densidad del aire ( $1.225 \text{ kg/m}^3$ ),  $C_d A$  el producto aerodinámico obtenido en la Tabla XXXV, y  $v$  la velocidad instantánea del vehículo.

### 2. Fuerza de rodadura:

$$F_{rod} = m g C_{rr} \cos(\theta)$$

Donde  $m$  es la masa total del vehículo (Tabla XXXIII),  $g$  la aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ),  $C_{rr}$  el coeficiente de rodadura y  $\theta$  el ángulo de pendiente del terreno.



### 3. Fuerza gravitacional:

$$F_{grav} = m g \sin(\theta)$$

Representa el componente de peso paralelo al plano inclinado, positivo en ascenso y negativo en descenso.

### 4. Fuerza inercial:

$$F_{in} = m a$$

Donde  $a$  es la aceleración instantánea, calculada a partir de la variación de velocidad en cada intervalo temporal ( $a = \Delta v / \Delta t$ ).

### 5. Potencia mecánica en rueda:

$$P_{rueda} = (F_{aero} + F_{rod} + F_{grav} + F_{in}) v$$

La potencia en rueda representa la energía mecánica que debe ser entregada por el tren motriz para vencer todas las resistencias al avance.

### 6. Potencia eléctrica de la batería:

$$P_{bat} = \begin{cases} \frac{P_{rueda}}{\eta_{tren}} + P_{aux}, & \text{si } P_{rueda} \geq 0 \\ \eta_{regen} P_{rueda} + P_{aux}, & \text{si } P_{rueda} < 0 \end{cases}$$

Donde  $\eta_{tren}$  corresponde a la eficiencia del tren motriz y  $\eta_{regen}$  a la eficiencia asociada al proceso de frenado regenerativo,  $P_{aux}$  la potencia promedio consumida por los sistemas auxiliares del vehículo, tales como climatización y electrónica de control.

### 7. Energía total consumida:

$$E_{total} = \sum \frac{P_{bat} \Delta t}{3,600,000}$$



El valor obtenido corresponde a la energía neta consumida durante la jornada de simulación, expresada en kilovatios-hora (kWh).

### 8. Consumo específico y autonomía estimada:

$$e = \frac{E_{total}}{D_{total}} [\text{kWh/km}]$$

$$A = \frac{Cap_{bat, \acute{u}til}}{e} [\text{km}]$$

Donde  $D_{total}$  es la distancia total recorrida y  $Cap_{bat, \acute{u}til}$  a capacidad útil de la batería.

El parámetro  $e$  expresa el consumo específico de energía por kilómetro.

#### c) Condiciones numéricas

La ejecución del modelo consideró parámetros numéricos coherentes con los registros obtenidos mediante el GPS autónomo. El procesamiento se realizó empleando un intervalo de integración de 2 s, aplicándose un suavizado elemental sobre las señales de velocidad y altitud para atenuar fluctuaciones abruptas propias de la medición. Adicionalmente, se adoptó un umbral mínimo de velocidad de 0.5 km/h para distinguir los intervalos en los que el vehículo permaneció sin desplazamiento.

Durante la simulación, los valores de eficiencia del sistema de tracción y de recuperación energética se mantuvieron constantes. El consumo correspondiente a los sistemas auxiliares fue representado mediante un valor promedio, decisión que permitió simplificar el modelo sin comprometer la consistencia de los resultados obtenidos.

#### d) Cálculo del modelo

El desarrollo del cálculo se apoyó en los datos de velocidad, altitud y pendiente registrados por el sistema GPS autónomo. A partir de esta información se derivaron las aceleraciones y las



fuerzas actuantes sobre el vehículo en cada intervalo de tiempo, lo que permitió estimar la potencia demandada durante el recorrido.

Posteriormente, dicha potencia fue transformada en energía eléctrica y acumulada a lo largo de la jornada, obteniéndose como resultado el consumo diario, el consumo específico y la autonomía estimada del vehículo. Este enfoque permitió reproducir el comportamiento energético del vehículo eléctrico en condiciones reales de operación urbana, integrando tanto las variables dinámicas del recorrido como los parámetros físicos propios de cada modelo analizado.

#### 4.3.4 *Análisis energético mediante simulación basada en datos real*

La Tabla XXXVI presenta los resultados del análisis energético obtenido a partir de una simulación basada en perfiles reales de conducción correspondientes a los vehículos eléctricos Kia Soul EV y BYD e5. El estudio se desarrolló utilizando datos de operación urbana registrados en la ciudad de Ibarra durante el intervalo comprendido entre las 05:00 y las 22:00 horas, con una distancia total recorrida de 182 km.

Adicionalmente, se evaluaron escenarios de carga correspondientes a tres y cinco pasajeros, con el objetivo de analizar la influencia de la masa total del vehículo sobre el consumo energético y la autonomía resultante.

**Tabla XXXVI**

**Resultados del análisis energético de vehículos eléctricos bajo condiciones reales de operación (05:00–22:00 h)**

| Vehículo                   | Kia Soul EV |       | BYD e5 |       |
|----------------------------|-------------|-------|--------|-------|
|                            | 3 pax       | 5 pax | 3 pax  | 5 pax |
| <b>Masa total (kg)</b>     | 1818        | 1968  | 2070   | 2220  |
| <b>CdA (m<sup>2</sup>)</b> | 0.9         | 0.9   | 0.64   | 0.64  |
| <b>Crr</b>                 | 0.013       | 0.013 | 0.012  | 0.012 |
| <b>Htren</b>               | 0.88        | 0.88  | 0.9    | 0.9   |
| <b>Hregen</b>              | 0.65        | 0.65  | 0.70   | 0.70  |
| <b>Paux (kW)</b>           | 0.5         | 0.5   | 0.7    | 0.7   |
| <b>Energía día (kWh)</b>   | 34.33       | 36.29 | 37.49  | 39.49 |
| <b>Distancia (km)</b>      | 182         | 182   | 182    | 182   |



|                         |       |       |       |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Consumo (kWh/km)</b> | 0.189 | 0.199 | 0.206 | 0.217 |
| <b>Autonomía (km)</b>   | 143   | 135   | 228   | 217   |

**Fuente:** Elaboración propia a partir del modelo energético aplicado sobre datos reales de conducción.

#### 4.3.5 *Análisis de resultados*

Los resultados obtenidos evidencian un comportamiento coherente con los principios físicos del modelo y con el desempeño real reportado por los fabricantes de ambos vehículos eléctricos.

En las simulaciones realizadas, el BYD e5 registró autonomías promedio de 228 km con tres pasajeros y 217 km con cinco pasajeros. Estos valores permiten cubrir la jornada diaria típica del servicio de taxi urbano en la ciudad de Ibarra sin requerir recargas intermedias.

Por su parte, el Kia Soul EV mostró autonomías de 143 km y 135 km bajo las mismas condiciones de ocupación. Si bien estos valores resultan adecuados para trayectos urbanos de menor extensión, representan una limitación cuando se consideran recorridos prolongados dentro de una jornada completa. La diferencia observada respecto al BYD e5 se relaciona con características propias de diseño y eficiencia global del sistema de tracción. Esta diferencia frente al BYD e5 estuvo relacionada con su diseño y eficiencia general, ya que este último presentó un comportamiento más favorable durante la circulación urbana.

Asimismo, el incremento en el número de pasajeros generó un aumento moderado del consumo energético, estimado entre el 5 % y el 6 %, como resultado del mayor peso total del vehículo y del esfuerzo adicional requerido durante las aceleraciones y los tramos en pendiente. En términos generales, los valores de consumo registrados se mantuvieron dentro de rangos habituales para vehículos eléctricos de uso urbano, lo que permitió confirmar la coherencia de los resultados obtenidos con el modelo aplicado.



Tabla XXXVII

## Comparación con ficha técnica

| Vehículo    | Autonomía ficha (km) | Escenario | Autonomía real (km) | Diferencia Δ % vs ficha | % batería usada en 182 km | % restante |
|-------------|----------------------|-----------|---------------------|-------------------------|---------------------------|------------|
| BYD e5      | 330                  | 3 per     | 228                 | 30.86                   | 79.77                     | 20.23      |
| BYD e5      | 330                  | 5 per     | 217                 | 34.36                   | 84.02                     | 15.98      |
| Kia Soul EV | 220                  | 3 per     | 143                 | - 34.94                 | 127.15                    | —          |
| Kia Soul EV | 220                  | 5 per     | 135                 | - 38.45                 | 134.41                    | —          |

**Nota:** Cálculo del porcentaje de batería usada:  $(182 \times \text{Consumo [kWh/km]}) / \text{Capacidad útil [kWh]} \times 100$ .

### *Interpretación técnica y conclusiones parciales*

El análisis comparativo de autonomías evidencia un comportamiento coherente con las condiciones topográficas y operativas de la ciudad de Ibarra.

En las condiciones evaluadas, el BYD e5 registró autonomías dentro del intervalo de 217 a 228 km. Si se compara este rango con la jornada promedio de 182 km, se observa que el vehículo puede completar el recorrido sin necesidad de recarga intermedia, conservando un margen energético estimado entre el 15 % y el 20 %. Este remanente proporciona un nivel adicional de seguridad operativa durante el servicio urbano.

Para el Kia Soul EV, las distancias obtenidas no permitieron cubrir el recorrido diario establecido bajo las mismas condiciones. Esto implicó la necesidad de planificar recargas parciales o reorganizar turnos de trabajo para mantener la continuidad del servicio. La limitación se vinculó tanto a su configuración general como a la capacidad útil de almacenamiento energético disponible.

Las variaciones detectadas en el consumo se relacionaron principalmente con el peso total en operación, las características del trazado urbano y el patrón de conducción típico del tránsito local. Estos elementos influyeron de manera directa en la demanda energética durante la jornada, destacándose:



- El efecto de la masa total sobre la resistencia a la rodadura y la energía inercial durante las aceleraciones.
- La presencia de pendientes moderadas en el perfil altitudinal urbano (pendiente promedio  $\approx 3,2\%$ ).
- El tiempo prolongado en condiciones de tráfico denso, con velocidades medias inferiores a 20 km/h, que aumenta el consumo por pérdidas auxiliares y ciclos frecuentes de detención y arranque.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el BYD e5 mostró condiciones favorables para su utilización como taxi eléctrico en la ciudad de Ibarra, al permitir cubrir la jornada diaria con un nivel adecuado de consumo y autonomía, incluso en un entorno urbano con presencia de pendientes.

Por su parte, el Kia Soul EV se presentó como una opción viable en escenarios de recorridos más cortos o cuando se dispone de puntos de recarga intermedia, lo que limitó su aplicación a un rango operativo más reducido frente a las exigencias del servicio urbano continuo.

#### ***Análisis comparativo entre la distancia diaria y la autonomía obtenida***

Con el objetivo de contrastar las autonomías estimadas bajo condiciones reales de operación de desplazamiento, se analizaron los registros de kilometraje obtenidos por ambos GPS durante el periodo de observación. La Tabla XXXVIII resume los valores de distancia máxima, promedio y mínima registrados para taxis con parada fija, cuyos datos fueron obtenidos a partir del uso combinado del dispositivo Teltonika FMC130 y del sistema GPS autónomo, así como para taxis sin parada fija, instrumentados con el sistema GPS autónomo.

**Tabla XXXVIII**

#### **Distancias diarias registradas por los taxis monitoreados**

| <b>Tipo de Taxi</b> | <b>Sistema de monitoreo</b> | <b>Kilometraje Máx. (km)</b> | <b>Kilometraje Prom. (km)</b> | <b>Kilometraje Mín. (km)</b> |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Con parada fija     | FMC130 + GPS autónomo       | 157                          | 123                           | 89                           |
| Sin parada          | GPS autónomo                | 245                          | 183                           | 151                          |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de registros de los sistemas GPS FMC130 y autónomo.



Los resultados evidenciaron que los taxis con paradas fijas recorren en promedio 123 km diarios, mientras que los taxis sin parada alcanzan recorridos promedio de 183 km, con valores máximos de 245 km en jornadas completas.

Esta diferencia refleja dos patrones operativos claramente definidos: los taxis con parada fija presentan trayectos cortos y frecuentes dentro de zonas de alta demanda, mientras que los vehículos sin parada efectúan rutas continuas y extensas a lo largo de la ciudad.

#### 4.3.6 *Impacto de la inclinación sobre la autonomía*

##### a) Metodología de cálculo

La estimación de la pendiente del terreno se realizó utilizando los datos de altitud previamente suavizados, obtenidos a partir del procesamiento del archivo generado por el GPS autónomo.

Con el fin de asegurar la confiabilidad del análisis, se aplicaron criterios de filtrado orientados a la eliminación de valores atípicos y del ruido característico de los sistemas GNSS. Para ello, se consideraron exclusivamente aquellos registros que cumplieron con las siguientes condiciones:

- velocidad igual o superior a 0.5 m/s,
- distancia recorrida por muestra no menor a 0.5 m,
- intervalos temporales no superiores a 10 s, y
- valores de pendiente comprendidos entre -20 % y +20 %.)

##### b) Indicadores ponderados por distancia

###### 1. Pendiente promedio absoluta (ponderada por distancia):

$$| \bar{\text{pend}} | = \frac{\sum_i^* | \text{pendiente}\%_i | \Delta s_i}{\sum_i^* \Delta s_i}$$



**2. Pendiente promedio en ascenso (ponderada por distancia y considerando solo pendiente%<sub>i</sub> > 0):**

$$\bar{\text{pend}}_{\uparrow} = \frac{\sum_{i: \text{pendiente}\%_i > 0} \text{pendiente}\%_i \Delta S_i}{\sum_{i: \text{pendiente}\%_i > 0} \Delta S_i}$$

**3. Pendientes críticas (percentiles sobre | pendiente%<sub>i</sub> |):**

$P_{90} = \text{percentil}_{90}(| \text{pendiente}\%_i |)$ ,  $P_{95} = \text{percentil}_{95}(| \text{pendiente}\%_i |)$ ,  $P_{99} = \text{percentil}_{99}(| \text{pendiente}\%_i |)$

**4. Distancia efectiva del día:**

$$\text{dist}_{\text{km}} = \frac{\sum_i \Delta S_i}{1000}$$

**5. Fracción de tiempo en ascenso (porcentaje de duración con pendiente%<sub>i</sub> > 0):**

$$\text{Frac}_{\uparrow}(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{i: \text{pendiente}\%_i > 0} \Delta t_i}{\sum_i \Delta t_i}$$

**Resultados obtenidos**

**Tabla XXXIX**

**Inclinación promedio y crítica del recorrido diario (Ibarra)**

| <b>Indicador</b>                  | <b>Valor %</b> |
|-----------------------------------|----------------|
| Pendiente promedio absoluta (%)   | 3.24           |
| Pendiente promedio en ascenso (%) | 3.28           |
| Pendiente crítica (P95, %)        | 12.51          |
| Pendiente P90 (%)                 | 9.58           |
| Pendiente P99 (%)                 | 17.61          |
| Distancia efectiva (km)           | 178.51         |
| Fracción de tiempo en ascenso (%) | 48.2           |

Fuente: Elaboración propia

**c) Interpretación de resultados**

Los resultados muestran que la ciudad de Ibarra presenta una inclinación promedio absoluta de 3.24 %, clasificándola como una urbe de topografía moderadamente irregular.

En el recorrido evaluado se identificaron segmentos con pendientes marcadas, particularmente en zonas periféricas y en vías que conducen hacia sectores de mayor altitud dentro



de la ciudad. Estas condiciones implicaron periodos prolongados de ascenso, situación que incrementa la demanda energética del vehículo durante la operación.

Si bien los tramos descendentes permiten activar el sistema de regeneración durante el frenado, la energía recuperada en estas fases resulta inferior a la requerida previamente en los ascensos, por lo que el balance final continúa reflejando un consumo neto asociado a la topografía del trayecto.

#### ***4.3.7 Efecto de la temperatura y presión atmosférica sobre la autonomía***

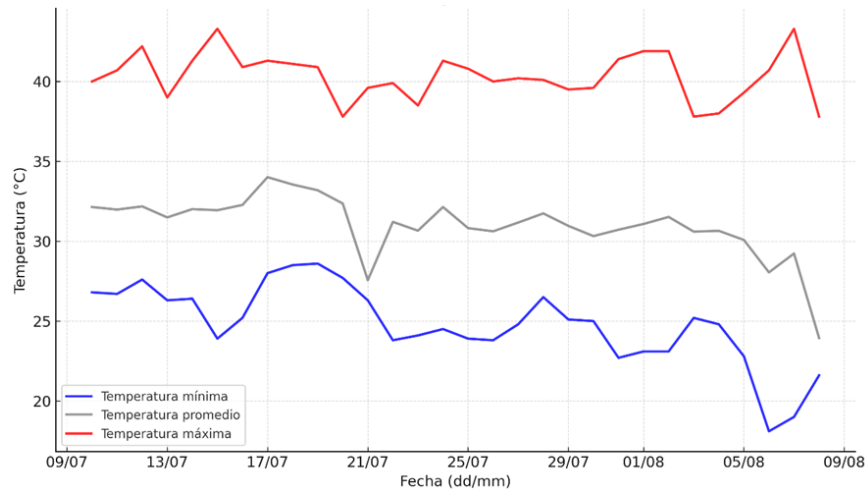
A lo largo del desarrollo del estudio, el sistema GPS autónomo efectuó un registro continuo de las variables ambientales de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa, con la finalidad de caracterizar las condiciones térmicas de operación del vehículo dentro del entorno urbano de la ciudad de Ibarra. Este monitoreo se llevó a cabo mediante los sensores BME280 y DHT11, integrados en el módulo de adquisición de datos.

En una etapa preliminar, el equipo fue colocado en el compartimento del motor. Esta ubicación generó valores de temperatura considerablemente altos, influenciados por el calor propio del funcionamiento mecánico del vehículo. Tales registros no representaban condiciones térmicas adecuadas para evaluar el comportamiento energético de un vehículo eléctrico, por lo que fueron descartados del análisis principal.

Posteriormente, el módulo se reubicó en el interior del vehículo. Los datos obtenidos en esta configuración resultaron más coherentes con el entorno térmico que experimentarían los componentes auxiliares o un sistema de monitoreo instalado en un vehículo eléctrico durante su operación habitual, motivo por el cual se utilizaron como base para el estudio de la influencia ambiental sobre la autonomía.



Los valores registrados bajo esta configuración reflejan las condiciones térmicas y de humedad del entorno interno del vehículo y se emplean con fines referenciales para analizar la posible influencia del clima sobre el rendimiento energético y la autonomía estimada del vehículo eléctrico en condiciones reales de operación urbana.

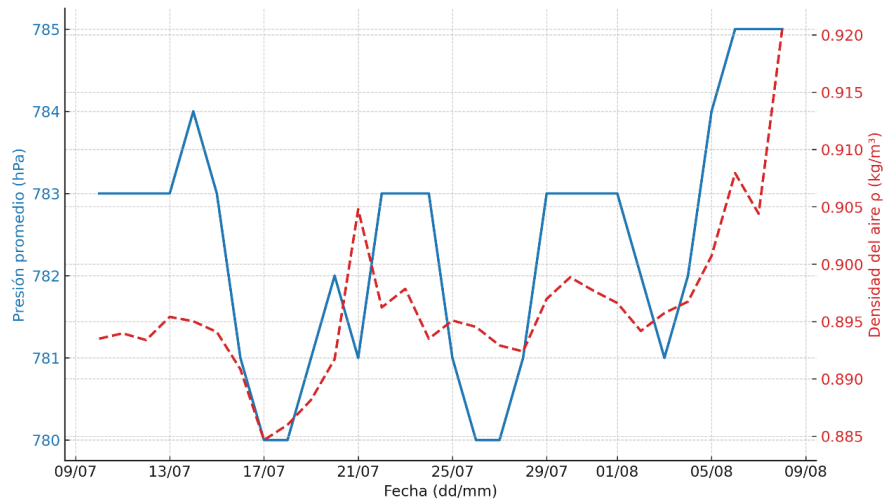


**Figura 61.** Comportamiento diario de las temperaturas mínima, media y máxima registradas durante el periodo de monitoreo.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos obtenidos por el sensor BME280 del sistema GPS autónomo.

La Figura 63 ilustra la relación existente entre la presión atmosférica media y la densidad del aire ( $\rho$ ), determinada a partir de las mediciones de temperatura y presión proporcionadas por el sensor BME280.

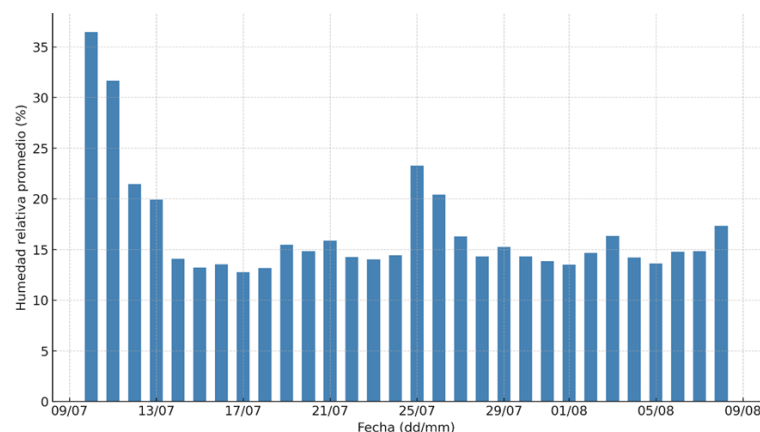
Durante el periodo analizado, los valores de presión se situaron en un rango comprendido entre 780 y 785 hPa, registrándose una densidad media del aire cercana a  $0.90 \text{ kg/m}^3$ , lo cual es característico de condiciones barométricas estables propias de zonas interandinas ubicadas a una altitud aproximada de 2200 m s. n. m.



**Figura 62.** Relación entre la presión atmosférica promedio y la densidad del aire estimada durante el periodo analizado.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del sensor BME280 del sistema GPS autónomo.

La Figura 64 se presenta el desarrollo de la humedad relativa promedio diaria obtenida mediante el sensor DHT11. Con una variación entre 10 % y 35 %, con un valor promedio mensual de 16.7 %, los picos de humedad registrados coincidieron con los días de menor temperatura y mayor cobertura nubosa, lo que confirma la correspondencia climática entre ambos parámetros.



**Figura 63.** Variación diaria de la humedad relativa promedio durante el periodo de monitoreo.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del sensor DHT11 del sistema GPS autónomo.



Tabla XL

**Resumen mensual de variables climáticas registradas por el sistema GPS autónomo**

| Indicador                              | Valor promedio |
|--|----------------|
| Temperatura mínima (°C)                | 18.1           |
| Temperatura máxima (°C)                | 43.3           |
| Temperatura promedio (°C)              | 31.01          |
| Presión atmosférica (hPa)              | 782.33         |
| Densidad del aire (kg/m <sup>3</sup> ) | 0.9            |
| Humedad relativa (%)                   | 16.74          |

**Fuente:** Elaboración propia con base en los registros del sistema GPS autónomo.

El comportamiento mensual de las variables climáticas evidencia una alta amplitud térmica y una baja humedad relativa, condiciones que favorecen la estabilidad eléctrica y la eficiencia energética de los vehículos eléctricos, al reducir las pérdidas térmicas y la condensación en los sistemas electrónicos.

No obstante, las temperaturas máximas superiores a 40 °C pueden generar un aumento puntual del consumo auxiliar debido al funcionamiento del sistema de climatización (HVAC), lo que justifica su consideración dentro del modelo energético del vehículo.

***Análisis del día representativo (1 de agosto de 2025)***

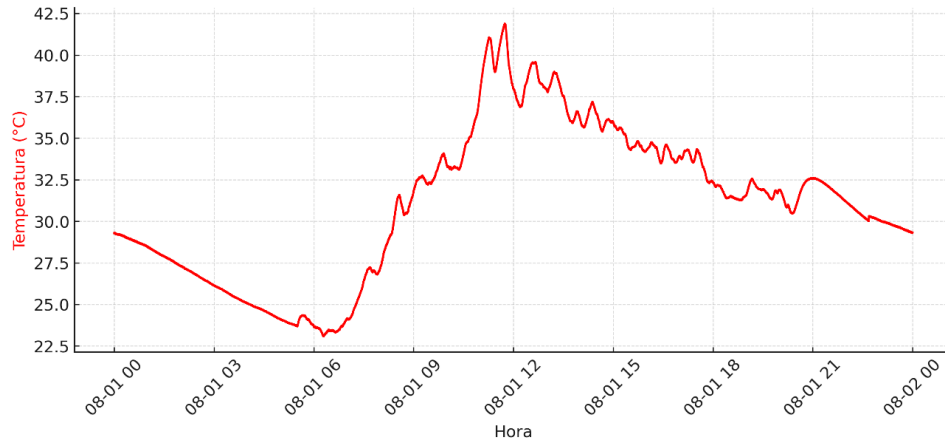
Para evaluar de manera precisa la influencia de las condiciones ambientales sobre la autonomía del vehículo eléctrico, el análisis se centró en los registros correspondientes al día representativo de operación. Las variables ambientales fueron registradas de forma continua durante la jornada completa y posteriormente filtradas y promediadas en intervalos de 5 minutos, con el fin de suavizar fluctuaciones instantáneas y representar de manera estable el comportamiento térmico y barométrico.

**a) Temperatura ambiental**

La Figura 65 muestra la variación de la temperatura ambiental registrada durante el día representativo.



Se observa un aumento progresivo a partir de las primeras horas de la mañana, alcanzando el valor máximo de 41.89 °C hacia el mediodía, y un descenso gradual durante la tarde y noche hasta un mínimo de 23.08 °C.

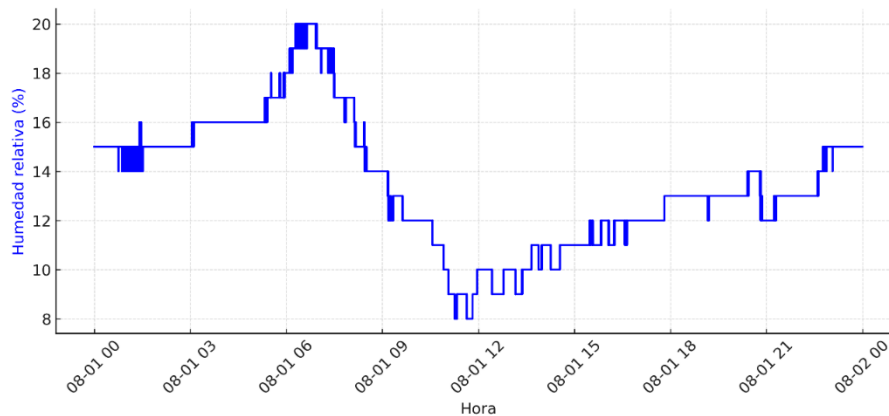


**Figura 64.** Variación de la temperatura ambiental durante el día representativo.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del sensor BME280 del sistema GPS autónomo.

## b) Humedad Relativa

La Figura 66 presenta el desarrollo de la humedad relativa registrada por el sensor DHT11. Los cuales valores obtenidos oscilaron entre 8 % y 20 %, con un promedio de 13.51%. Durante las horas de mayor temperatura, la humedad descendió hasta sus valores mínimos, mientras que en las horas nocturnas se observó un ligero incremento, propio del enfriamiento ambiental.



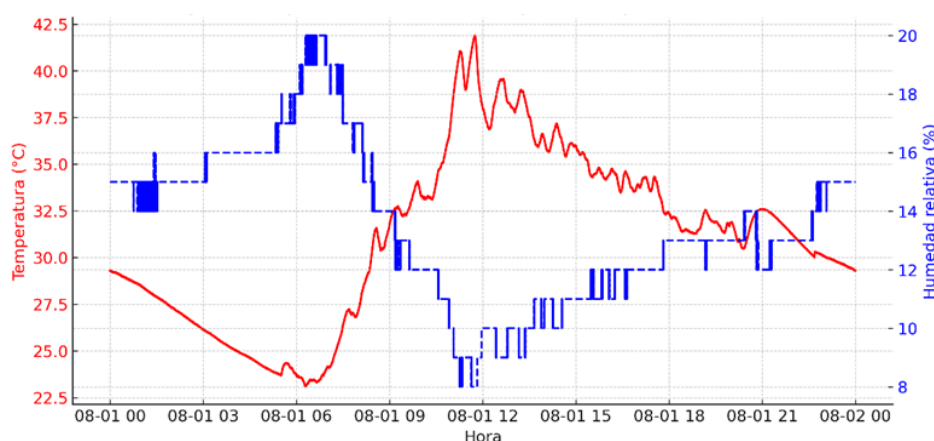
**Figura 65.** Variación de la humedad relativa durante el día representativo

**Fuente:** Elaboración propia con datos del sensor DHT11 del sistema GPS autónomo.

**c) Relación entre temperatura y humedad**

La Figura 66 integra ambas variables, mostrando la relación inversa entre temperatura ambiental y humedad relativa.

El punto de máxima temperatura ( $\approx 41.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) coincidió con el valor mínimo de humedad ( $\approx 8\%$ ), lo que indica condiciones de alta demanda térmica en el habitáculo del vehículo. Estas condiciones provocan el funcionamiento del sistema de ventilación o aire acondicionado, aumentando temporalmente la potencia auxiliar (Paux).



**Figura 66.** Relación entre temperatura ambiental y humedad relativa durante el día representativo.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del sistema GPS autónomo.



#### d) Resumen de variables climáticas del día representativo

Tabla XLI

Resumen de variables ambientales registradas el 1 de agosto de 2025

| Indicador                 | Valor |
|---------------------------|-------|
| Temperatura mínima (°C)   | 23.08 |
| Temperatura máxima (°C)   | 41.89 |
| Temperatura promedio (°C) | 31.08 |
| Humedad mínima (%)        | 8     |
| Humedad máxima (%)        | 20    |
| Humedad promedio (%)      | 13.51 |
| Presión atmosférica (hPa) | 782   |

**Fuente:** Elaboración propia con base en registros del sistema GPS autónomo (día representativo)

#### *Evaluación del efecto de la temperatura y la densidad del aire sobre la autonomía*

Con base en los registros ambientales del día representativo, se evaluó el efecto de la temperatura y la presión atmosférica sobre la densidad del aire ( $\rho$ ) y, en consecuencia, sobre el consumo energético y la autonomía de los vehículos eléctricos analizados.

El análisis se realizó mediante el modelo energético basado en datos reales de conducción, considerando dos escenarios:

- **Caso A:** densidad estándar del aire,  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$  (valor de referencia a 25 °C y 1 atm).
- **Caso B:** densidad variable calculada con los datos de temperatura y presión registrados durante la jornada, representando las condiciones climáticas reales de la ciudad de Ibarra (altitud media  $\approx 2200 \text{ m s. n. m.}$ ).

Tabla XLII

Consumo energético y autonomía simulada bajo densidades estándar y reales (1 de agosto de 2025)

| Vehículo           | Escenario | kWh/100<br>km<br>( $\rho = 1.225$ ) | kWh/100<br>km ( $\rho(T_p)$ ) | $\Delta$ %<br>consumo | Autonomía<br>(km) $\rho =$<br>1.225 | Autonomía<br>(km) $\rho(T_p)$ |
|--------------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Kia Soul EV</b> | 3 pax     | 18.9                                | 18.4                          | -2.65                 | 143                                 | 147                           |
| <b>Kia Soul EV</b> | 5 pax     | 19,80                               | 19,50                         | -1.52                 | 136                                 | 138                           |



|               |       |       |       |       |     |     |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
| <b>BYD e5</b> | 3 pax | 20,60 | 20,37 | -1.12 | 228 | 231 |
| <b>BYD e5</b> | 5 pax | 21,70 | 21,47 | -1.06 | 217 | 219 |

Fuente: Elaboración propia

*Ajuste térmico sobre la autonomía del vehículo eléctrico*

**Interpretación de resultados**

Además del efecto aerodinámico asociado a la densidad del aire, las variaciones térmicas influyen directamente en el comportamiento electroquímico de las baterías de tracción. La eficiencia de carga y descarga depende de la resistencia interna, la cual aumenta a bajas temperaturas, reduciendo la autonomía disponible [60].

En el caso de los vehículos analizados, las diferencias de composición química determinan su sensibilidad térmica:

- El BYD e5, que utiliza una batería de fosfato de hierro y litio (LiFePO<sub>4</sub>), se caracteriza por su alta estabilidad térmica y baja degradación ante temperaturas elevadas. Esta tecnología mantiene un rendimiento estable entre 15 °C y 45 °C, con pérdidas mínimas de eficiencia (< 3 %) [61].
- El Kia Soul EV, en cambio, emplea una batería de polímero de litio (Li-ion polímero), más sensible a los cambios térmicos. Por debajo de 15 °C puede presentar una reducción de autonomía de hasta 8–10 %, y por encima de 40 °C una degradación acelerada del electrolito con el tiempo [60].

Considerando las temperaturas promedio registradas durante el periodo de monitoreo en Ibarra (31 °C) y el rango máximo de 43.3 °C, se estimó el ajuste térmico referencial mostrado en la siguiente tabla XLIII.



Tabla XLIII

## Ajuste estimado de autonomía según temperatura promedio registrada

| Temperatura promedio (°C) | Rango térmico operativo       | Ajuste estimado de eficiencia (%) | Autonomía BYD e5 (km) | Autonomía Kia Soul EV (km) |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 31.1                      | Óptimo (20–35 °C)             | 0 % a –2 %                        | 224 – 228             | 140 – 143                  |
| 15                        | Moderadamente fría (10–20 °C) | –5 % a –8 %                       | 210 – 217             | 131 – 136                  |
| 5                         | Fría (<10 °C)                 | –10 % a –15 %                     | 194 – 205             | 121 – 129                  |

**Fuente:** Adaptado de Elaboración propia con base en literatura técnica sobre comportamiento térmico de baterías LiFePO<sub>4</sub> y Li-ion polímero [60], [61].

Los resultados indicaron que las condiciones térmicas habituales de la ciudad de Ibarra se mantuvieron dentro de rangos adecuados para el funcionamiento de las baterías de los vehículos eléctricos analizados, sin provocar variaciones importantes en su autonomía. En las evaluaciones realizadas, el BYD e5 mantuvo un comportamiento estable frente a temperaturas elevadas, registrando autonomías cercanas a las obtenidas bajo condiciones normales de operación. Estos resultados coinciden con lo señalado en estudios previos [61], donde no se reportan variaciones significativas dentro del rango térmico analizado.

Para el Kia Soul EV, la tecnología de batería empleada presenta una mayor sensibilidad a los cambios de temperatura; sin embargo, dentro del intervalo evaluado, la autonomía promedio se ubicó entre 140 y 143 km. Las variaciones observadas no representaron pérdidas sustanciales de rendimiento en el contexto climático considerado [60].

Bajo escenarios de temperaturas inferiores a 15 °C, habituales en zonas de mayor altitud o durante periodos de elevada precipitación, se prevé una reducción de la autonomía estimada entre el 5 % y el 8 %, atribuible al aumento de la resistencia interna de la batería y a una menor eficiencia de los inversores.

En consecuencia, se determinó que, considerando el clima templado seco característico de la ciudad de Ibarra (temperatura media aproximada de 31 °C), las condiciones térmicas resultan



favorables para la operación de taxis eléctricos, presentando un impacto térmico global inferior al 3 % sobre la autonomía total

Las pérdidas energéticas por temperatura se consideran despreciables frente a otros factores de mayor incidencia, como la topografía, la masa total del vehículo y el uso del sistema HVAC.

***Comparación de autonomías reales en diferentes ciudades del Ecuador***

Con el propósito de contextualizar los resultados obtenidos, se compararon las autonomías reales registradas en diversas ciudades ecuatorianas con diferentes condiciones topográficas (Tabla XLIV).

Observando que la autonomía tiende a disminuir conforme aumenta la inclinación promedio del terreno, evidenciando la influencia directa del relieve urbano sobre la eficiencia energética del vehículo eléctrico.

**Tabla XLIV**

**Comparación de autonomía real registrada en diferentes ciudades del Ecuador**

| <b>Vehículo</b>    | <b>Cuenca</b> | <b>Loja</b> | <b>Guayaquil</b> | <b>Ibarra<br/>(este estudio)</b> | <b>Observación</b>  |
|--------------------|---------------|-------------|------------------|----------------------------------|---|
| <b>Kia Soul EV</b> | 124.9 km      | ≤120 km     | 180 km           | 143 km                           | El valor de Ibarra se encuentra dentro del rango esperado: mayor que Loja y menor que Guayaquil, coherente con su topografía más irregular.         |
| <b>BYD e5</b>      | 180–200 km    | 180 km      | 250 km           | 228 km                           | El desempeño en Ibarra muestra una ligera reducción respecto a Guayaquil, atribuible al efecto de las pendientes y al tiempo prolongado en ascenso. |

**Fuente:** Elaboración propia con base a la Tabla XXLIV.

***Validación de resultados y autonomía corregida por condiciones climáticas***

Al aplicar la corrección climática basada en la densidad del aire real  $\rho$  ( $T_p$ ) y el régimen de potencia auxiliar (HVAC), la autonomía estimada para Ibarra varió dentro de un margen menor al  $\pm 2$  %, manteniéndose en los valores obtenidos por el modelo energético principal:

- BYD e5:  $\approx 228 \pm 4$  km (3 per) y  $217 \pm 4$  km (5 per)
- Kia Soul EV:  $\approx 143 \pm 3$  km (3 per) y  $136 \pm 3$  km (5 per)



Al aplicar la corrección climática, la autonomía estimada para la ciudad de Ibarra presentó variaciones leves, manteniéndose cercana a los valores obtenidos en el modelo energético principal. Para el Kia Soul EV, la autonomía se ubicó alrededor de 143 km con tres pasajeros y 136 km con cinco pasajeros, con diferencias poco significativas entre jornadas.

Las variaciones obtenidas resultaron mínimas frente a las condiciones climáticas locales, lo que respalda la solidez del modelo aplicado. En estas circunstancias, el BYD e5 conserva un rango de autonomía que permite cubrir los 182 km diarios sin recargas intermedias. En contraste, el Kia Soul EV requiere una planificación operativa distinta, ya sea mediante recargas parciales o ajustes en la duración de los turnos.

Entre los elementos con mayor incidencia sobre el consumo energético se identificaron la pendiente del trayecto, la masa total en operación y la utilización de sistemas auxiliares durante la jornada.

#### **4.3.8 Análisis económico operativo (energía)**

##### ***Parámetros de referencia del modelo financiero***

Para el análisis económico se tomaron como base los consumos energéticos obtenidos en la simulación para la ciudad de Ibarra, considerando una distancia diaria representativa de 182 km. Como referencia, se utilizó el precio vigente de la gasolina Extra para el año 2025, fijado en 2,911 USD por galón.

Los consumos específicos de los vehículos eléctricos se obtuvieron a partir del modelo de simulación bajo condiciones reales de operación urbana. Los valores de consumo energético derivados de la simulación situaron al Kia Soul EV en torno a 0,19 kWh/km. Para el BYD e5 se obtuvieron cifras ligeramente superiores, asociadas principalmente a las características del recorrido y a la carga transportada.



A partir de estos parámetros se estimaron los costos energéticos diarios considerando una distancia promedio de 182 km, las tarifas eléctricas vigentes y un rendimiento urbano de 9 km/L para vehículos a gasolina, valor representativo del desempeño observado en taxis convencionales de la ciudad.

**Consumos usados (Ibarra, 182 km):**

**a) Vehículos eléctricos**

- **BYD e5:** 0,206–0,217 kWh/km.
- **Kia Soul EV:** 0,187–0,198 kWh/km

**b) Taxi a gasolina (escenario realista urbano)**

- **Litros:**  $182 / 9 = 20,22 \text{ L}$
- **Galones:**  $20,22 / 3,785 = 5,34 \text{ gal}$
- **Costo diario:**  $5,34 \times 2,911 = \$15,55/\text{día}$
- **Costo por km:**  $0,769 \text{ USD/L} / 9 \text{ km/L} = 0,0855 \text{ USD/km}$

**Tabla XLV**

**Costo energético diario por escenario**

| Escenario                       | Consumo (kWh/km) | Energía del día (kWh) | Costo 0,05 USD/kWh | Costo 0,10 USD/kWh | Gasolina  |
|---------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| <b>BYD e5 (promedio)</b>        | 0,211            | 38,4                  | 1,92 USD           | 3,84 USD           | —         |
| <b>Kia Soul EV (promedio)</b>   | 0,193            | 35,3                  | 1,76 USD           | 3,52 USD           | —         |
| <b>Taxi gasolina (9 km/gal)</b> | —                | —                     | —                  | —                  | 15,55 USD |

**Nota:** Los valores de consumo energético corresponden al promedio de los rangos simulados para cada vehículo eléctrico. Para el BYD e5 se adoptó 0,211 kWh/km, derivado del rango 0,206–0,217 kWh/km, y para el Kia Soul EV se empleó 0,193 kWh/km, promedio del rango 0,187–0,198 kWh/km. Estos valores se multiplicaron por la distancia representativa de 182 km, obteniéndose demandas energéticas diarias de 38,4 kWh y 35,2 kWh, respectivamente.

**c) Costo energético mensual (30 días)**



**Tabla XLVI**

**Costo energético mensual (30 días)**

| <b>Escenario</b>   | <b>0,05 USD/kWh</b> | <b>0,10 USD/kWh</b> | <b>(9 km/L)</b> |
|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| <b>BYD e5</b>      | 57,6 USD/mes        | 115,2 USD/mes       | —               |
| <b>Kia Soul EV</b> | 52,8 USD/mes        | 105,6 USD/mes       | —               |
| <b>Gasolina</b>    | —                   | —                   | ≈ 466,6 USD/mes |

**Fuente:** Elaboración propia

Según los parámetros de cálculo definidos, el vehículo eléctrico reduce el gasto energético ≈ 75– 89% frente al de combustión.

**d) Operación y tiempos de carga (para 182 km/día)**

**AC domiciliaria 220 V (~7 kW)**

- BYD e5 ≈ 5 h 30 min (38,4 kWh/7 kW)
- Kia Soul EV ≈ 5 h (35,2 kWh/7 kW)

**DC rápida (40–50 kW)**

- Referencia real 18 kWh en 25 min (≈ 43 kW)
- Extrapolado: BYD ≈ 53 min; Kia ≈ 49 min

**Implicación operativa**

- El BYD e5 (47 kWh útiles) cubre la jornada con una sola carga nocturna
- El Kia Soul EV (27 kWh útiles) requiere una recarga intermedia para completar 182 km

**Interpretación económica de los resultados**

Considerando un patrón operativo de 182 km diarios y el rendimiento urbano realista del taxi a gasolina (9 km/L), el costo energético del vehículo eléctrico se ubicó entre 0,010 y 0,021 USD/km (según tarifa de 0,05–0,10 USD/kWh), frente a 0,0855 USD/km del vehículo a gasolina.

Si se contrastan estos valores, el costo por kilómetro de los vehículos eléctricos se ubica claramente



por debajo del correspondiente a la gasolina. En el esquema de 182 km diarios, el gasto energético diario del vehículo eléctrico resulta considerablemente menor, diferencia que también se refleja cuando se proyecta el análisis a escala mensual.

En condiciones reales de operación urbana, esta reducción no comprometió la continuidad del servicio. El BYD e5 completó la jornada con una recarga nocturna, mientras que el Kia Soul EV necesitó apoyo adicional debido a su capacidad disponible. Desde una perspectiva operativa, los resultados indican que la movilidad eléctrica puede sostener el servicio de taxi con menores costos energéticos y con una mayor estabilidad en el precio de la energía frente a los combustibles líquidos.

### *Costos de mantenimiento y operación*

#### **a) Mantenimiento preventivo y correctivo**

Los costos de mantenimiento de los vehículos eléctricos se reducen considerablemente respecto a los de combustión, debido a la ausencia de componentes móviles sujetos a fricción (embrague, transmisión, sistema de escape, lubricantes y filtros).

Con base en los registros de talleres locales y referencias de estudios nacionales sobre flotas eléctricas urbanas, se adoptaron los valores promedio mostrados en la Tabla XLVII

**Tabla XLVII**

**Costo mensual estimado de mantenimiento por tipo de vehículo**

| <b>Concepto / Vehículo</b>             | <b>Aveo Family (gasolina)</b> | <b>Kia Soul EV</b> | <b>BYD e5</b>      |
|--|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Cambio de aceite y filtros</b>      | 38 USD / mes                  | —                  | —                  |
| <b>Sistema de frenos</b>               | 18 USD / mes                  | 8 USD / mes        | 6 USD / mes        |
| <b>Mantenimiento general anual (%)</b> | 12 % del valor veh.           | 6 % del valor veh. | 5 % del valor veh. |
| <b>Revisión eléctrica / mecánica</b>   | 25 USD / mes                  | 12 USD / mes       | 10 USD / mes       |
| <b>Costo total mensual estimado</b>    | <b>81 USD</b>                 | <b>20 USD</b>      | <b>16 USD</b>      |



Fuente: Elaboración propia

**b) Costos fijos operativos**

A los costos variables de operación se incorporaron costos fijos asociados al funcionamiento del taxi, tales como seguro, impuestos y depreciación.

Para la depreciación se consideró una vida útil de cinco años y un valor residual del 15 %, criterio utilizado para representar el ciclo de renovación típico del transporte liviano urbano..

**Tabla XLVIII**

**Costos fijos mensuales**

| Concepto  | Aveo Family | Kia Soul EV | BYD e5     |
|---|-------------|-------------|------------|
| Seguro e impuestos                              | 25 USD      | 25 USD      | 25 USD     |
| Depreciación mensual<br>(5 años, 15 % residual) | 212,50 USD  | 481,67 USD  | 481,67 USD |
| Costo fijo mensual<br>total                     | 237,50 USD  | 506,67 USD  | 506,67 USD |

Fuente: Elaboración propia

Nota: La depreciación mensual se calculó aplicando un periodo de vida útil de cinco años (60 meses) y un valor residual del 15 % del costo de adquisición, según la ecuación:

$$D_m = \frac{(C_i - C_i \times 0,15)}{60}$$

donde  $D_m$  es la depreciación mensual y  $C_i$  el costo inicial del vehículo.

**c) Costo total de operación (energía + mantenimiento + fijos)**

Integrando los costos energéticos mensuales con los costos fijos y de mantenimiento, se obtiene el costo total de operación, expresado tanto en USD/mes como en USD/km.

**Tabla XLIX**

**Costo total de operación mensual y unitario**

| Vehículo               | Energía<br>(USD/mes) | Mantenimiento<br>(USD/mes) | Fijos<br>(USD/mes) | Total<br>(USD/mes) | Costo<br>(USD/km) |
|------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| <b>Aveo<br/>Family</b> | 466                  | 81                         | 237,50             | 785.50             | 0.144             |



|                    |     |    |        |        |       |
|--------------------|-----|----|--------|--------|-------|
| <b>Kia Soul EV</b> | 106 | 20 | 506,67 | 632.67 | 0.116 |
| <b>BYD e5</b>      | 115 | 16 | 506,67 | 637.67 | 0.117 |

**Fuente:** Elaboración propia

**Nota:** Elaboración propia con base en simulaciones energéticas, encuestas locales y valores técnicos compilados de estudios económicos nacionales sobre electromovilidad.

### **Interpretación técnica económica**

Los resultados mostraron que, bajo condiciones urbanas representativas y considerando valores de adquisición y depreciación, los vehículos eléctricos mantuvieron una ventaja operativa frente al vehículo a combustión. En la comparación mensual de costos operativos, el Chevrolet Aveo Family / Emotion presentó valores superiores frente a las alternativas eléctricas consideradas. Tanto el Kia Soul EV como el BYD e5 registraron montos menores durante la operación cotidiana del servicio, lo que representa una diferencia económica relevante dentro del esquema analizado.

La reducción de gastos en los vehículos eléctricos se relaciona principalmente con menores intervenciones de mantenimiento y con un consumo energético más eficiente. Estos factores contribuyen a equilibrar el impacto de la depreciación asociada a la inversión inicial.

En un análisis individual, el Kia Soul EV mostró un costo operativo ligeramente más bajo debido a su consumo diario; no obstante, su autonomía limitada obliga a planificar recargas adicionales en recorridos extensos. El BYD e5, por su parte, combinó mayor autonomía con estabilidad operativa, permitiendo completar la jornada con una sola recarga y manteniendo un balance favorable entre costo y desempeño dentro del contexto urbano de Ibarra.

### ***Análisis financiero comparativo***

Para la evaluación financiera de la migración hacia vehículos eléctricos, se emplearon los parámetros técnicos y financieros definidos en el modelo Tabla L.



**Tabla L**

**Parámetros de cálculo financiero**

| <b>Parámetro</b>                                    | <b>Valor adoptado</b> | <b>Observación</b>                              |
|---|-----------------------|---|
| <b>Horizonte de evaluación</b>                      | 5 años                | Vida útil promedio del vehículo eléctrico       |
| <b>Kilometraje diario</b>                           | 182 km                | Promedio de operación de taxi urbano en Ibarra  |
| <b>Kilometraje anual</b>                            | 66 430 km             | 182 × 365 días                                  |
| <b>Tasa de descuento</b>                            | 10%                   | Valor de referencia para proyectos de movilidad |
| <b>Precio de adquisición BYD e5</b>                 | 34 000 USD            | Exonerado de impuestos                          |
| <b>Precio de adquisición Kia Soul EV</b>            | 34 000 USD            | Exonerado de impuestos                          |
| <b>Precio de adquisición Aveo Family (gasolina)</b> | 15 000 USD            | —   |
| <b>Costo de energía eléctrica</b>                   | 0,10 USD/kWh          | Escenario base (tarifa mixta)                   |
| <b>Costo del galón de gasolina</b>                  | 2,911 USD/galón       | Precio vigente 2025                             |
| <b>Valor residual</b>                               | 15%                   | Valor recuperable al año 5                      |

**Fuente:** Elaboración propia

**d) Flujo neto de ahorro anual**

Los costos de operación mensuales calculados en la Tabla LI fueron anualizados y comparados respecto al vehículo a combustión (Aveo Family).

El ahorro operativo anual se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro anual} = (C_{\text{gasolina}} - C_{\text{eléctrico}}) \times 12$$

donde  $C_{\text{gasolina}}$  representa el costo mensual de operación del vehículo a combustión y  $C_{\text{eléctrico}}$  el del vehículo eléctrico correspondiente.



Tabla LI

## Flujo de caja operativo comparativo (USD/año)

| Concepto                         | Aveo Family | Kia Soul EV | BYD e5 |
|----------------------------------|-------------|-------------|--------|
| Costo de operación mensual (USD) | 785,08      | 632,04      | 637,87 |
| Costo de operación anual (USD)   | 9 552       | 7 690       | 7 761  |
| Ahorro anual vs. gasolina (USD)  | —           | 1 862       | 1 791  |

Fuente: Elaboración propia

**e) Inversión inicial y retorno**

El análisis del flujo financiero se efectuó considerando la inversión inicial adicional respecto al vehículo a combustión y los ahorros anuales generados durante la operación.

Tabla LII

## Análisis financiero del cambio tecnológico hacia la movilidad eléctrica

| Indicador                                | Kia Soul EV | BYD e5      |
|--|-------------|-------------|
| Inversión inicial adicional (USD)        | 19 000      | 19 000      |
| Ahorro operativo anual (USD)             | 1 822       | 1 762       |
| Periodo de recuperación (Payback simple) | 125 meses   | 129 meses   |
| Valor actual neto (VAN, 5 años, 10 %)    | -11 942 USD | -12 211 USD |
| Tasa interna de retorno (TIR)            | ≈ -3 %      | ≈ -4 %      |

Fuente: Elaboración propia.

**Nota:** Diferencia respecto al costo de adquisición del vehículo Aveo Family (15 000 USD).

**Interpretación técnica**

Los resultados financieros evidenciaron que, bajo los precios energéticos y costos de adquisición considerados, la migración hacia vehículos eléctricos requirió un periodo de recuperación prolongado. Aunque el costo operativo mensual de los modelos eléctricos fue inferior al del vehículo a combustión, la inversión inicial más alta limitó su rentabilidad dentro del horizonte de evaluación definido.



El periodo de recuperación simple superó los diez años para ambos modelos. Dentro del horizonte de evaluación considerado, los indicadores financieros no alcanzaron niveles que permitan calificar la inversión como altamente rentable. El retorno se mantuvo por debajo de los valores de referencia definidos para el análisis. A pesar de ello, los menores costos de energía y mantenimiento contribuyeron a disminuir el gasto operativo acumulado con el paso del tiempo.

En cuanto al desempeño operativo, el BYD e5 logró cubrir la jornada diaria sin requerir recargas intermedias. El Kia Soul EV, en cambio, presentó restricciones vinculadas a su autonomía, lo que limita su aplicación en trayectos extensos bajo un esquema continuo de trabajo. En este contexto, la viabilidad económica en el corto plazo dependió en gran medida de la existencia de incentivos o mecanismos de financiamiento que ayuden a disminuir la inversión inicial.

En conjunto, el análisis desarrollado permitió identificar que la incorporación de taxis eléctricos en la ciudad de Ibarra es técnicamente viable bajo las condiciones locales de operación. Aunque el costo inicial continúa siendo una barrera relevante, los menores gastos energéticos y de mantenimiento, junto con la aceptación de los conductores, evidenciaron el potencial de la electromovilidad como una alternativa sostenible para el transporte urbano.



## Conclusiones

Se determinó que la migración del transporte público tipo taxi hacia sistemas de movilidad eléctrica en la ciudad de Ibarra resultó técnicamente factible, considerando de manera directa la influencia del relieve urbano sobre la autonomía de los vehículos eléctricos. El análisis de datos reales, obtenidos mediante el sistema de monitoreo GPS implementado, permitió comprobar que las distancias recorridas durante jornadas completas de operación y las pendientes características de la ciudad pudieron ser cubiertas sin que se presentaran limitaciones críticas asociadas a la autonomía de las baterías. En el contexto de operación urbana evaluado, los vehículos eléctricos demostraron capacidad suficiente para atender las exigencias del servicio de taxi, sin presentarse restricciones críticas asociadas a la autonomía.

Respecto al almacenamiento de energía, las baterías de ion de litio fueron las empleadas en los modelos analizados. Su densidad energética y desempeño en aplicaciones de transporte urbano permitieron alcanzar niveles de autonomía acordes con las condiciones propias de Ibarra, considerando factores como altitud, pendientes y variaciones ambientales registradas durante el trabajo de campo.

El seguimiento realizado a las unidades monitoreadas permitió observar que los recorridos diarios mantienen patrones relativamente constantes en distancia, tiempo y velocidad. Esta regularidad operativa resulta compatible con las capacidades energéticas de los vehículos eléctricos evaluados, lo que respalda la correspondencia entre autonomía disponible y dinámica real del servicio.

En el ámbito económico, si bien se identificaron ventajas en costos operativos y mantenimiento, la inversión inicial continúa siendo un factor determinante en la decisión de adopción. El periodo de recuperación estimado superó los diez años bajo las condiciones analizadas. A pesar de ello, las encuestas aplicadas evidenciaron interés por parte de los conductores, condicionado a la existencia de incentivos, opciones de financiamiento y disponibilidad adecuada de infraestructura de carga.



## Recomendaciones

Con base en los resultados técnicos y operativos obtenidos en el presente estudio, se consideró pertinente la implementación progresiva de vehículos eléctricos en el servicio de taxi de la ciudad de Ibarra, tomando como referencia el desempeño observado en términos de autonomía y operación diaria. Una transición gradual permitiría aprovechar las ventajas identificadas sin afectar la continuidad del servicio ni la dinámica operativa actual de las cooperativas de taxis.

La información obtenida sobre los patrones de movilidad urbana puede servir como referencia técnica para cooperativas y entidades responsables de la planificación del transporte. Los recorridos, tiempos de operación y características topográficas observadas muestran compatibilidad con el uso de vehículos eléctricos en contextos urbanos similares.

Dado que la inversión inicial representa un elemento clave en la decisión de adopción, resulta pertinente impulsar instrumentos de apoyo financiero dirigidos al sector del transporte público. Entre ellos pueden considerarse líneas de crédito preferencial, incentivos tributarios o programas de renovación vehicular. Estas medidas contribuirían a mejorar la factibilidad económica del cambio hacia movilidad eléctrica, reduciendo el impacto sobre la estabilidad financiera de los operadores.

Asimismo, se recomienda que investigaciones posteriores apliquen una metodología similar para evaluar la factibilidad de la movilidad eléctrica en otras ciudades del país con condiciones topográficas distintas. La comparación entre regiones permitiría generar evidencia adicional para la formulación de políticas públicas orientadas a la transición hacia sistemas de transporte con menor impacto ambiental.



## Referencias

- [1] F. J. P. JARAMILLO, “Necesidad de reformar la ley de gestión ambiental con la finalidad de crear unidades de gestión ambiental de forma obligatoria en todas las instituciones públicas respecto al artículo 13,” UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, 2016. [Online]. Available: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/14507>
- [2] Dirección de planificación y desarrollo territorial, “ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN IBARRA,” *GADMU Ibarra*, p. 617, 2020, [Online]. Available: [https://www.academia.edu/27357890/PLAN\\_DE\\_DESARROLLO\\_Y\\_ORDENAMIENTO\\_TERRITORIAL\\_DEL\\_CANTÓN\\_CUENCA](https://www.academia.edu/27357890/PLAN_DE_DESARROLLO_Y_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL_DEL_CANTÓN_CUENCA)
- [3] J. Timperley, “Petróleo: cuán cerca estamos de alcanzar el punto máximo de demanda de crudo (y qué significa esto),” Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-66367497>
- [4] F. Alanazi, “Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation,” *Appl. Sci.* 2023, Vol. 13, Page 6016, vol. 13, no. 10, p. 6016, May 2023, doi: 10.3390/AP13106016.
- [5] L. O. Reina Villota, “Estudio del impacto de la electromovilidad del transporte urbano en las redes de distribución del cantón Ibarra,” 2023. Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14531>
- [6] B. Energ, “Balance Energético Nacional 2022,” pp. 91–103, 2022, [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/capitulo4.pdf>
- [7] B. Z. E. DANIEL and T. H. K. ANDRÉS, “ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA ‘MOBILISEYOURCITY’ PARA LA CIUDAD DE IBARRA,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13947>
- [8] “Medidor vehículo eléctrico - Empresa Eléctrica Quito - Empresa Electrica Quito.” [Online]. Available: <https://www.eeq.com.ec/vehiculo-electrico>
- [9] “Estaciones de carga en Ibarra.” Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.electromaps.com/es/puntos-carga/ecuador/ibarra>
- [10] W. A. B. Bazante, “Proceso de Implementación de la Electromovilidad para una Flota Pequeña de Vehículos M1 en Guayaquil,” Universidad Internacional del Ecuador, 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4390>
- [11] N. García Bernal, “Electromovilidad: tendencias y experiencia nacional e internacional,” *Asesor. Técnica Parlam.*, p. 14, 2019, [Online]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27343/1/BCN\\_\\_Electromovilidad\\_Experiencias\\_comparadas\\_.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27343/1/BCN__Electromovilidad_Experiencias_comparadas_.pdf)
- [12] J. I. Jaramillo Ojeda and A. A. Uchuari Marizaca, “Análisis de la ubicación de electrolineras en la ciudad de Loja,” Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca, 2021. [Online]. Available:



<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20346>

- [13] J. T. Montecelos, *VEHICULOS ELECTRICOS*, Paraninfo, 2019. [Online]. Available: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FMqwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=vehículos+eléctricos&ots=sJ0JAIX77T&sig=rpTeBSjxCVPGKTzTJ2hUeiOacBA#v=onepage&q=vehículos+eléctricos&f=false>
- [14] D. E. T. Barreda, “Baterías de tracción para vehículos eléctricos,” *ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES*, 2019. [Online]. Available: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/34863>
- [15] S. S. Cepeda-Camacho, S. S. Cepeda-Camacho, C. F. Garzón-Muñoz, J. E. Guasumba-Maila, and D. D. Oramas-Proañó, “Descripción de las características de los diferentes tipos de baterías utilizadas en los vehículos eléctricos,” *Polo del Conoc.*, vol. 7, no. 4, pp. 376–391, Apr. 2022, doi: 10.23857/pc.v7i4.3830.
- [16] “En Ecuador se comercializan cuatro marcas de autos eléctricos – AEADE.” Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.aeade.net/en-ecuador-se-comercializan-cuatro-marcas-de-autos-electricos/>
- [17] S. V. Paola Quintana Villacis, Henry Acurio Flores, Juan Fonseca Palacios, Angélica Vaca Yáñez, Rodrigo Ullauri Guaranga, Santiago Tinajero Álvaro, “Estudio de análisis y prospectiva de la electro-movilidad en Ecuador y el mix energético al 2030,” 2023. [Online]. Available: <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/>
- [18] R. IBARRA, “ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA ECONÓMICA Y PROPUESTAS DE GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES DEL CANTÓN IBARRA,” 2009, Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/200326431.pdf>
- [19] “Buy a Raspberry Pi 4 Model B – Raspberry Pi.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- [20] “Raspberry Pi 4 Model B specifications – Raspberry Pi.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
- [21] “ESP-IDF Programming Guide - ESP32 - — ESP-IDF Programming Guide latest documentation.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>
- [22] “Nano ESP32 | Arduino Documentation.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-esp32/>
- [23] “Nextion – Ease of Use and Cost-effective HMI Solution.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://nextion.tech/>
- [24] “NX4832T035 – Nextion.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://nextion.tech/datasheets/nx4832t035/>
- [25] “NEO-M8 series | u-blox.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series>
- [26] “GPS.gov: GPS Modernization.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/>



- [27] “Potente Antena Activa GPS Magnética 40dBi con Glonass L1, - ANDTech.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.and-global.com/es/powerful-40dbi-magnetic-gps-active-antenna-with-glonass-l1-sma-fakra-connectors.html>
- [28] “SD Standard Overview - SD Association.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.sdcard.org/developers/sd-standard-overview/>
- [29] “Lenovo Thinkplus TF Memory Card 64GB Price in Bangladesh.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.rokomari.com/electronics/411615/lenovo-thinkplus-tf-memory-card-64gb>
- [30] “MPU-9250 | TDK InvenSense.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/>
- [31] “InvenSense anuncia el dispositivo de seguimiento de movimiento integrado de 9 ejes de mayor rendimiento y menor consumo del mundo | TDK InvenSense.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/news-media/invensense-announces-worlds-lowest-power-highest-performance-integrated-9-axis-motiontracking-device/>
- [32] “Pressure Sensor BMP280 | Bosch Sensortec.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280/>
- [33] “Humidity and Temperature Sensor - DHT20.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/humidity-and-temperature-sensor-dht20.html>
- [34] “ASAIR.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <http://aosong.com/en/Products/info.aspx?itemid=2257&lcid=151>
- [35] “LM2596 data sheet, product information and support | TI.com.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.ti.com/product/LM2596>
- [36] “LM2596.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.onsemi.com/products/power-management/dc-dc-power-conversion/converters/lm2596>
- [37] “1 ~ 10 Uds YX850 falla de energía conmutación automática batería de espera módulo de batería de litio DC5V-48V convertidor de emergencia universal - AliExpress.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/1005005485139827.html?spm=a2g0o.productlist.main.1.7e9f2c61wGAKaX&algo\\_pvid=417c4b2c-cec4-4413-8b06-78e1d012961d&algo\\_exp\\_id=417c4b2c-cec4-4413-8b06-78e1d012961d-0&pdp\\_ext\\_f=%7B%22order%22%3A%22543%22%2C%22eval%22%3A%221%22%7D&pdp\\_npi=4%40dis%21USD%210.98%210.86%21%21%210.98%210.86%21%402101590d17477106954782482ee5f7%2112000037922603379%21sea%21EC%210%21ABX&curPageLogUid=JDsVIIffaK6C&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery\\_from%3A](https://es.aliexpress.com/item/1005005485139827.html?spm=a2g0o.productlist.main.1.7e9f2c61wGAKaX&algo_pvid=417c4b2c-cec4-4413-8b06-78e1d012961d&algo_exp_id=417c4b2c-cec4-4413-8b06-78e1d012961d-0&pdp_ext_f=%7B%22order%22%3A%22543%22%2C%22eval%22%3A%221%22%7D&pdp_npi=4%40dis%21USD%210.98%210.86%21%21%210.98%210.86%21%402101590d17477106954782482ee5f7%2112000037922603379%21sea%21EC%210%21ABX&curPageLogUid=JDsVIIffaK6C&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A)
- [38] “YX850 Emergency Power Failure Automatic Switching Lithium Battery Module 5V-48V.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.robofactory.co.za/switch-over-modules/657-yx850-emergency-power-failure-automatic-switching-lithium-battery-module-5v-48v.html>



- [39] “FMC130 – Advanced 4G LTE Cat 1 Tracker For Fleet Management.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://teltonika-gps.com/products/trackers/fmc130>
- [40] U. S. E. Cases, “FMC130”, [Online]. Available: <https://wiki.teltonika-gps.com/images/7/7b/Datasheet-FMC130.pdf>
- [41] “GPS Visualizer.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.gpsvisualizer.com/>
- [42] “Excel help & learning.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://support.microsoft.com/en-us/excel>
- [43] “Editor – Nextion.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://nextion.tech/editor/>
- [44] “Software | Arduino.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software/>
- [45] “Download PuTTY - a free SSH and telnet client for Windows.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.putty.org/>
- [46] “FileZilla - The free FTP solution.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://filezilla-project.org/>
- [47] “EasyEDA - Online PCB design & circuit simulator.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://easyeda.com/>
- [48] “Microsoft Forms help & learning.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://support.microsoft.com/en-us/forms>
- [49] “Noise Store.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://gps.noisestore.app/authentication/create>
- [50] “Download VNC Viewer by RealVNC®.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: [https://www.realvnc.com/en/connect/download/viewer/?lai\\_vid=0XdLk23gQTaV8&lai\\_sr=5-9&lai\\_sl=1](https://www.realvnc.com/en/connect/download/viewer/?lai_vid=0XdLk23gQTaV8&lai_sr=5-9&lai_sl=1)
- [51] C. Tenesaca William Santiago Jiménez Tamayo Brian Rafael and I. Paul Wilfrido Méndez Torres, “ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO QUE PRESTE EL SERVICIO DE TAXI EN LA CIUDAD DE CUENCA,” 2018.
- [52] F. A. R. Obando, F. E. T. Gudiño, L. A. G. Pérez, and V. Cevallos, “ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR EFECTO DE LA SELECCIÓN DEL TREN MOTRIZ EN LOS TAXIS DE IBARRA, ECUADOR,” *Rev. DELOS*, vol. 12, no. 34, 2019, Accessed: Jul. 17, 2025. [Online]. Available: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/524>
- [53] “El Kia Soul Ev una opción para los taxis de Loja - Revista Acelerando - La revista del mundo automóvil y el deporte.” Accessed: Jul. 17, 2025. [Online]. Available: <https://acelerando.com.ec/el-kia-soul-ev-una-opcion-para-los-taxis-de-loja/>
- [54] I. K. Quezada Montalván, “Modelo de negocios para la creación de una Cooperativa de Taxis Eléctricos en la ciudad de Cuenca,” 2018, [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30387>
- [55] “Autos – BYD Eléctrico Ecuador.” Accessed: Jul. 17, 2025. [Online]. Available:



<https://bydelectrico.com/ec/autos/>

- [56] “Así van las ventas de carros eléctricos: la matrícula de este tipo de vehículos será de \$ 10, anuncio de Daniel Noboa | Informes | Noticias | El Universo.” Accessed: Jul. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/informes/antes-del-anuncio-de-daniel-noboa-de-cobrar-matricula-de-10-a-los-carros-electricos-asi-van-las-ventas-de-este-tipo-de-vehiculos-nota/>
- [57] W. E. JARAMILLO, “Taxis eléctricos en la ciudad de Loja - Ecuador,” *Rev. Espac.*, vol. 40, no. 18, Jun. 2019, Accessed: Oct. 26, 2025. [Online]. Available: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n18/19401827.html>
- [58] M. F. C. Erazo, J. V. A. Rodríguez, and C. E. C. Cabrera, “Análisis del dimensionamiento y costos de mantenimiento de vehículos eléctricos de taxis de la ciudad de Loja,” *Dominio las Ciencias*, vol. 10, no. 3, pp. 1954–1983, Sep. 2024, doi: 10.23857/dc.v10i3.4019.
- [59] “Precio, ficha técnica y equipamiento.” Accessed: Jul. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.km77.com/coches/kia/soul/2014/estandar/electrico/soul-ev/datos>
- [60] F. Leng, C. M. Tan, and M. Pecht, “Effect of Temperature on the Aging rate of Li Ion Battery Operating above Room Temperature,” *Sci. Rep.*, vol. 5, p. 12967, Aug. 2015, doi: 10.1038/SREP12967.
- [61] S. Sarkar, M. T. Amin, M. M. El-Halwagi, and F. Khan, “Thermal behavior of LiFePO<sub>4</sub> battery at faster C-rates and lower ambient temperatures,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 186, pp. 118–133, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.psep.2024.03.095.

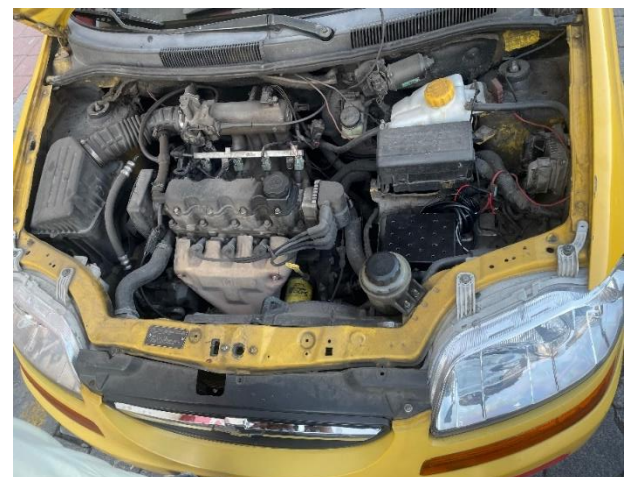
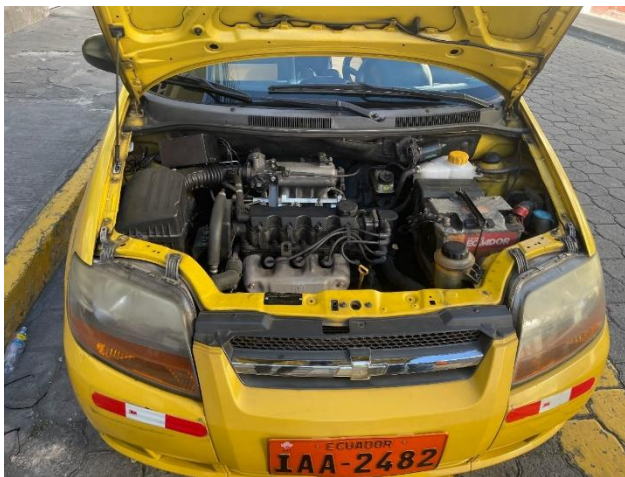
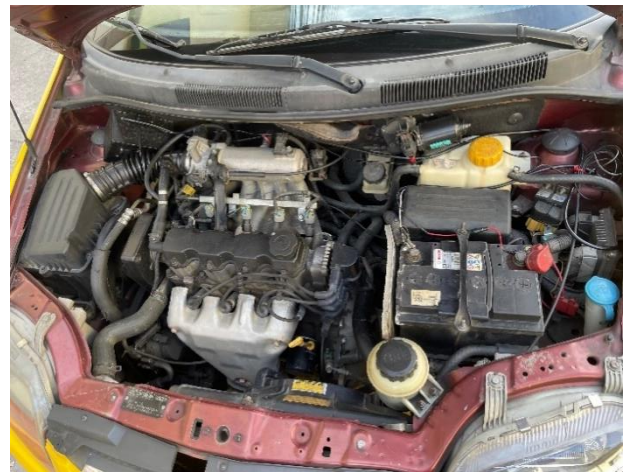


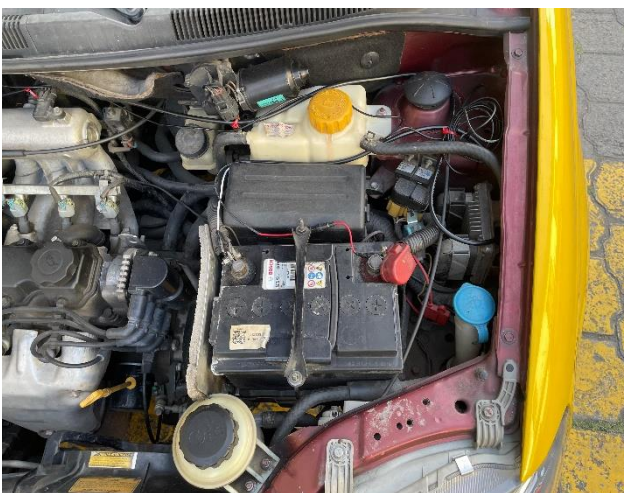
## ANEXOS

En esta sección se presenta el material complementario del proyecto, incluyendo datasheets de componentes, capturas de la encuesta aplicada, el código fuente del sistema con comentarios técnicos y fotografías de los vehículos encuestados y monitoreados.

**Anexo A.** Evidencia fotográfica de la instalación del sistema GPS autónomo en las unidades de taxi analizadas

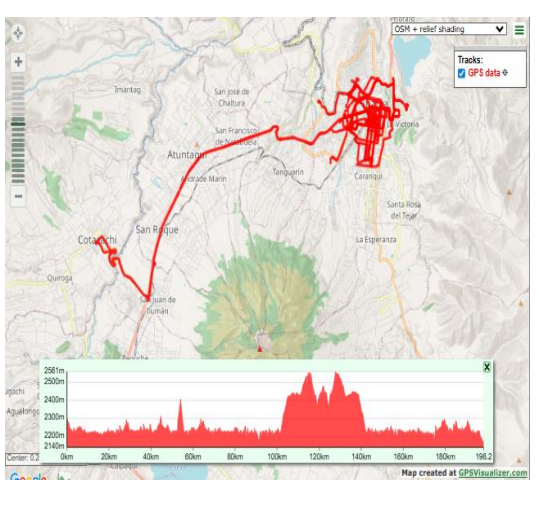
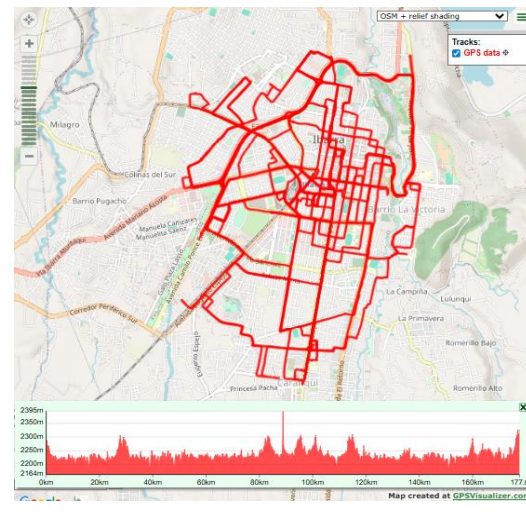
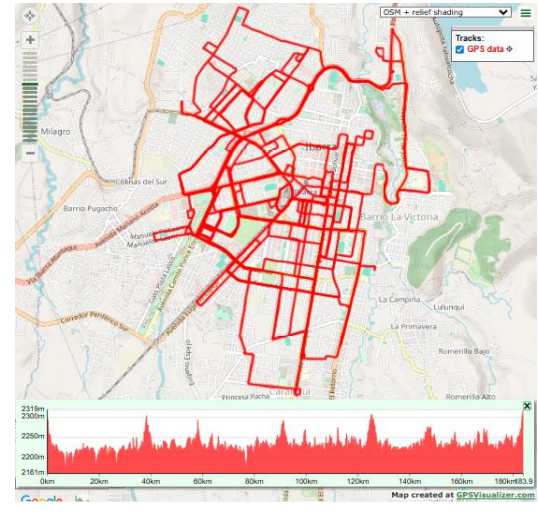
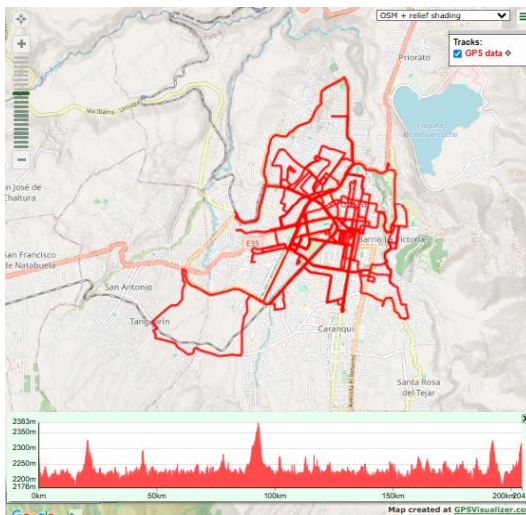
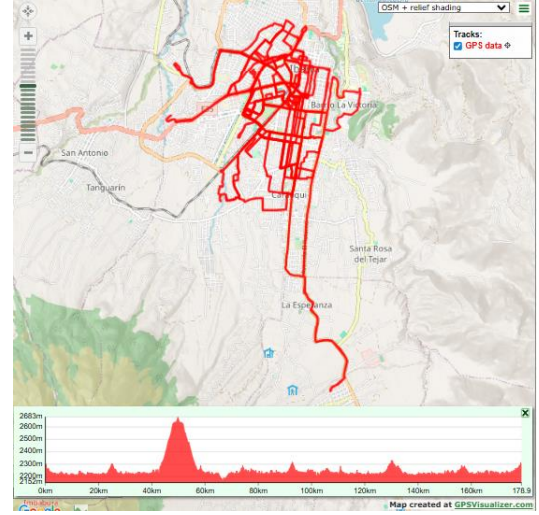
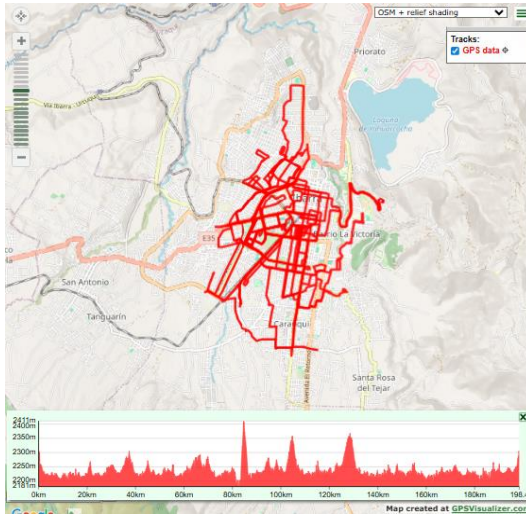






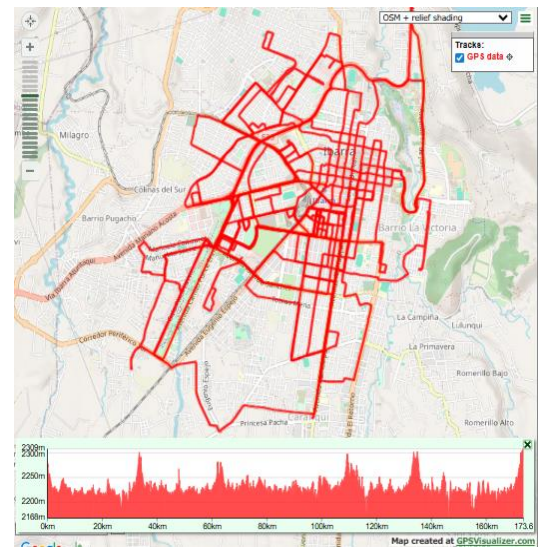
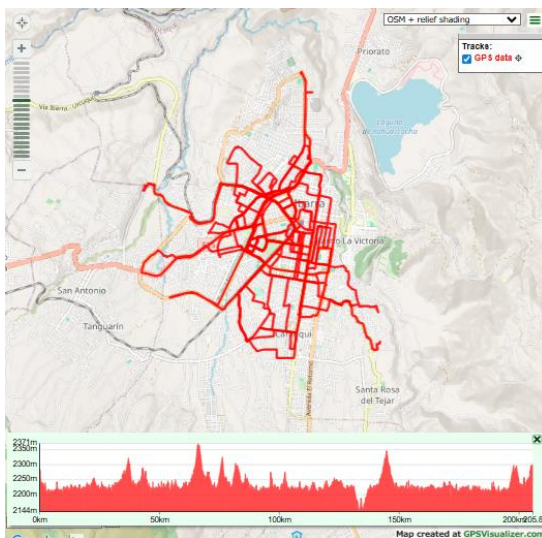
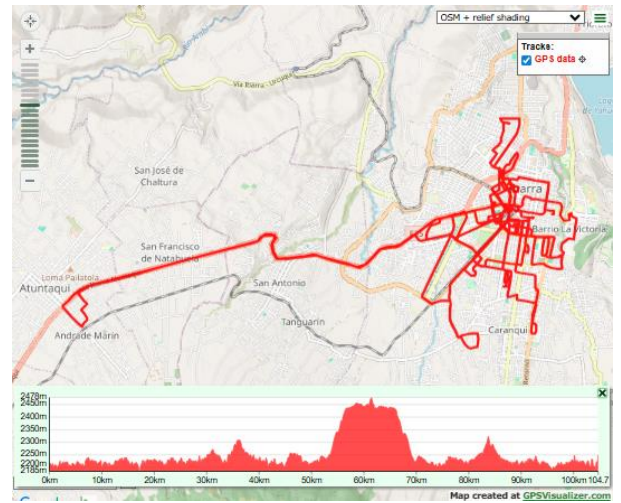
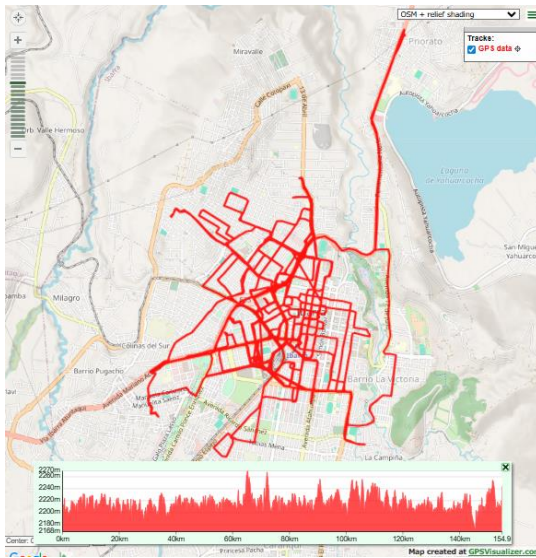
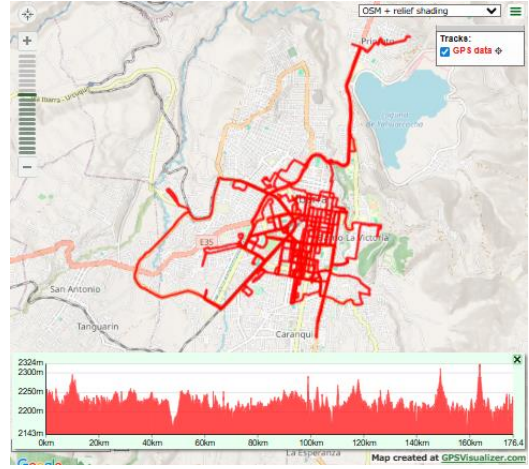
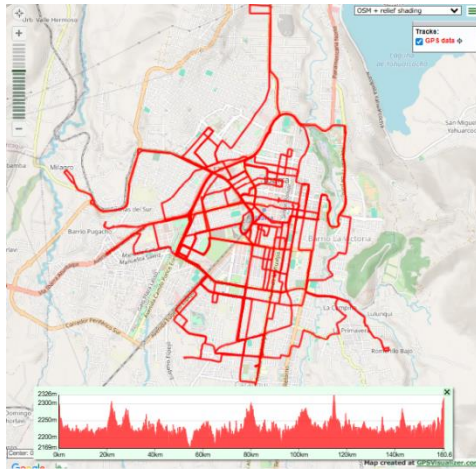


Anexo B. Registros gráficos de recorridos vehiculares obtenidos mediante GPS Visualizer.





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD





**Anexo C. Ficha Técnica del Vehículo BYD E5**

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS **BYD E5**

| TIPO   | SEDAN                                       |
|--|---|
| <b>Autonomía nominal</b><br><small>(Consumo constante de 15.3 KWh/ 100 km)</small>                           | 400 km                                      |
| <b>Autonomía como taxi</b><br><small>(Depende de uso)</small>  | Entre 300 y 330 km                          |
| <b>Potencia máx</b>  | 160 kw<br><small>Equivale a 2200 CC</small> |
| <b>Garantía de batería</b>   | 500.000 km o 5 años                         |
| <b>Cajuela</b>   | 450 L                                       |
| <b>Tiempo de carga en casa de 0 a 100% de la batería</b><br><small>(Requiere conexión 220v)</small>          | 7 a 8 h                                     |
| <b>Tiempo de carga en electrolinera de 0 a 100% de la batería</b><br><small>(Requiere conexión 440v)</small> | 1h15 min                                    |

Solución Tecnológica

- 100% eléctrico, homologado para taxi. Resolución No. 172-DIR-2010-CNNTTSV
- Extras: Color amarillo de fábrica, llantas de emergencia, gata y herramientas.

## RENTABILIDAD DEL PRODUCTO: **UN BUEN NEGOCIO**

| RUBRO                                     | VALOR            |
|---|------------------|
| Costo de taxi eléctrico BYD               | \$ 34.900        |
| Cuota inicial                             | \$ 6,980         |
| Valor a financiar                         | \$ 27,920        |
| Tiempo de financiamiento                  | 60 meses         |
| Tasa de interés                           | 11%              |
| <b>Cuota bancaria / mes</b>               | <b>\$ 607</b>    |
| <b>Costo electricidad / mes</b>           | <b>\$ 90,00</b>  |
| <b>Costo mantenimiento / mes</b>          | <b>\$ 57,00</b>  |
| <b>Costo operativo / mes para taxista</b> | <b>\$ 788,00</b> |

Solución Económica

- Ahorro aproximado de \$ 300/ mes vs. vehículo convencional a gasolina.
- Tasa de interés de 11%, hasta 60 meses plazo (Tasa comercial 16,06%)
- Financiamiento de cargadores.

Costo de operación mensual después de 5 años será de  
**USD 150,00 dólares**

@BYDelectricoEC



## Anexo D. Ficha Técnica del Vehículo KIA SOUL EV

### Especificaciones\*

\*201 kWh 285 nm  
 Autonomía de 452km\*\* 6 Airbags Sensores de punto ciego Asistente de límite de velocidad manual Botón de encendido Cargador inalámbrico

#### Motor

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Tipo                      | Eléctrico síncrono de imán permanente |
| Potencia máxima combinada | 150 Kw - 201 hp referencial           |
| Torque máximo             | 285nm                                 |
| Tipo de batería           | Polímero de Iones de litio            |
| Alimentación              | Eléctrica                             |
| Autonomía WLTP            | 452 km**                              |

#### Suspensión

|                  |                     |
|------------------|---------------------|
| Delanteros       | Tipo McPherson      |
| Posteriores      | Eje de torsión CTBA |
| Freno de parqueo | R17 Aluminio        |

#### Frenos

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| Sistema de frenos ABS         | X                         |
| Sistema de freno regenerativo | X                         |
| Delanteros                    | Disco                     |
| Posteriores                   | Disco                     |
| Frenos de parqueo             | Electrónico con auto hold |

#### Equipamiento exterior

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Faros delanteros duales LED        | X |
| Luces automáticas                  | X |
| Luces diurnas LED                  | X |
| Nebuleros delanteros LED           | X |
| Direccionales en los retrovisores  | X |
| Luces posteriores LED              | X |
| Detalles negro brillante           | X |
| Vidrios de privacidad posterior    | X |
| Manijas del color de la carrocería | X |
| Pluma posterior                    | X |

#### Dirección

|      |                                |
|------|--------------------------------|
| Tipo | MDPS (asistida eléctricamente) |
|------|--------------------------------|

#### Transmisión

|                    |   |
|--------------------|---|
| Perilla de cambios | X |
|--------------------|---|

#### Equipamiento interior

|  |   |
|--|---|
| Volante con ajuste de altura y profundidad                       | X |
| Retrovisores con ajuste eléctrico                                | X |
| Retrovisores plegables eléctricamente                            | X |
| Asientos de tela   | X |
| Asiento de conductor con ajuste de altura                        | X |
| Asientos posteriores plegables 60/40                             | X |
| Bolsillo posterior en asiento de pasajero                        | X |
| Porta gafas  | X |
| Vidrios eléctricos, Auto Down conductor                          | X |
| Volante de cuero   | X |
| Cargador inalámbrico   | X |
| Llave inteligente con botón de encendido                         | X |
| Radio táctil de 8" con conectividad Apple Carplay y Android Auto | X |
| 4 parlantes + Tweeter  | X |
| Mandos al volante  | X |
| Bluetooth con reconocimiento de voz                              | X |
| Cluster de 7" LCD  | X |
| Control crucero  | X |
| Selector de modo de conducción                                   | X |
| Paddle Shift (freno regenerativo)                                | X |
| Climatizador con función Orly Driver                             | X |

#### Seguridad

|   |   |
|---|---|
| 6 Airbags (2 laterales + 1 conductor + 1 pasajero + 2 de asiento)   | X |
| Kit de emergencia   | X |
| Inmovilizador   | X |
| Sensor de monitoreo de presión en los neumáticos                    | X |
| Sensor de punto ciego   | X |
| Asistente de límite de velocidad manual                             | X |
| Sensores de reversa   | X |
| Cámara de reversa con líneas guía                                   | X |
| Sensor de ocupantes en asiento posterior                            | X |
| Bloqueo central   | X |
| Columna de dirección con sistema de absorción de impacto colapsable | X |
| Barra de protección lateral anti-impacto en 4 puertas               | X |
| Sistema de anclaje para silla de niños ISOFIX                       | X |
| ESC (control de estabilidad electrónico)                            | X |
| HAC (asistente de arranque en pendientes)                           | X |

#### Dimensiones

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| Largo total          | 4,195 mm       |
| Ancho total          | 1,800 mm       |
| Alto total           | 1,605 mm       |
| Distancia entre ejes | 2,600 mm       |
| Capacidad de baúl    | 315 L - 1.339L |



#### Colores



\* Aplican restricciones. Especificaciones pueden variar de acuerdo a modelos y versiones.  
 \*\*Ciclo de homologación de consumo y emisiones WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure)





## Anexo E. Hoja técnica de la Raspberry Pi 4 Model B (4 GB RAM).

### Overview



Raspberry Pi 4 Model B features a high-performance 64-bit quad-core processor, dual-display support at resolutions up to 4K via a pair of micro HDMI ports, hardware video decode at up to 4Kp60, up to 8GB of RAM, dual-band 2.4/5.0 GHz wireless LAN, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0, and PoE capability (via a separate PoE HAT add-on). For the end user, Raspberry Pi 4 Model B provides desktop performance comparable to entry-level x86 PC systems.

This product retains backwards compatibility with the prior-generation Raspberry Pi 3 Model B+ and has similar power consumption, while offering substantial increases in processor speed, multimedia performance, memory, and connectivity.

The dual-band wireless LAN and Bluetooth have modular compliance certification, allowing the board to be designed into end products with significantly reduced compliance testing, improving both cost and time to market.



## Specification

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Processor:</b>           | Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz   |
| <b>Memory:</b>              | 1GB, 2GB, 4GB or 8GB LPDDR4 (depending on model) with on-die ECC  |
| <b>Connectivity:</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 5.0, BLE</li> <li>• Gigabit Ethernet</li> <li>• 2 × USB 3.0 ports</li> <li>• 2 × USB 2.0 ports.</li> </ul>                       |
| <b>GPIO:</b>                | Standard 40-pin GPIO header (fully backwards-compatible with previous boards)   |
| <b>Video &amp; sound:</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 × micro HDMI ports (up to 4Kp60 supported)</li> <li>• 2-lane MIPI DSI display port</li> <li>• 2-lane MIPI CSI camera port</li> <li>• 4-pole stereo audio and composite video port</li> </ul>   |
| <b>Multimedia:</b>          | H.265 (4Kp60 decode);<br>H.264 (1080p60 decode, 1080p30 encode);<br>OpenGL ES, 3.0 graphics   |
| <b>SD card support:</b>     | Micro SD card slot for loading operating system and data storage  |
| <b>Input power:</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5V DC via USB-C connector (minimum 3A<sup>1</sup>)</li> <li>• 5V DC via GPIO header (minimum 3A<sup>1</sup>)</li> <li>• Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)</li> </ul> |
| <b>Environment:</b>         | Operating temperature 0–50°C  |
| <b>Production lifetime:</b> | Raspberry Pi 4 Model B will remain in production until at least January 2034.   |
| <b>Compliance:</b>          | For a full list of local and regional product approvals, please visit <a href="http://pip.raspberrypi.com">pip.raspberrypi.com</a>  |



## Anexo F. Hoja técnica del Arduino Nano ESP32



Arduino® Nano ESP32

Product Reference Manual  
 SKU: ABX00083



### Description

The Arduino® Nano ESP32 (with and without headers) is a Nano form factor board based on the ESP32-S3 (embedded in the NORA-W106-10B from u-blox®). This is the first Arduino board to be based fully on an ESP32, and features Wi-Fi® as well as Bluetooth® LE.

The Nano ESP32 is compatible with the Arduino Cloud, and has support for MicroPython. It is an ideal board for getting started with IoT development.

### Target areas:

Maker, IoT, MicroPython

### Features

- **Xtensa® Dual-core 32-bit LX7 Microprocessor**
  - Up to 240 MHz
  - 384 kB ROM
  - 512 kB SRAM
  - 16 kB SRAM in RTC (low power mode)
  - DMA Controller
- **Power**
  - Operating voltage 3.3 V
  - VBUS supplies 5 V via USB-C® connector
  - VIN range is 6-21 V
- **Connectivity**
  - Wi-Fi®
  - Bluetooth® LE
  - Built-in antenna
  - 2.4 GHz transmitter/receiver
  - Up to 150 Mbps
- **Pins**
  - 14x digital (21x including analog)
  - 8x analog (available in RTC mode)
  - SPI(D11,D12,D13), I2C (A4/A5), UART(D0/D1)
- **Communication Ports**
  - SPI
  - I2C
  - I2S
  - UART
  - CAN (TWAI®)



## 1 The Board

Nano ESP32 is a 3.3 V development board based on the NORA-W106-10B from u-blox®, a module that includes a ESP32-S3 system on a chip (SoC). This module has support for Wi-Fi® and Bluetooth® Low Energy (LE), with amplified communication through a built-in antenna. The CPU (32-bit Xtensa® LX7) supports clock frequencies at up to 240 MHz.

### 1.1 Application Examples

**Home automation:** an ideal board for automating your home, and can be used for smart switches, automatic lighting and motor control for e.g. motor controlled blinds.

**IoT sensors:** with several dedicated ADC channels, accessible I2C/SPI buses and a robust ESP32-S3 based radio module, this board can easily be deployed to monitor sensor values.

**Low power designs:** create battery powered applications with low power consumption, utilising the built in low power modes of the ESP32-S3 SoC.

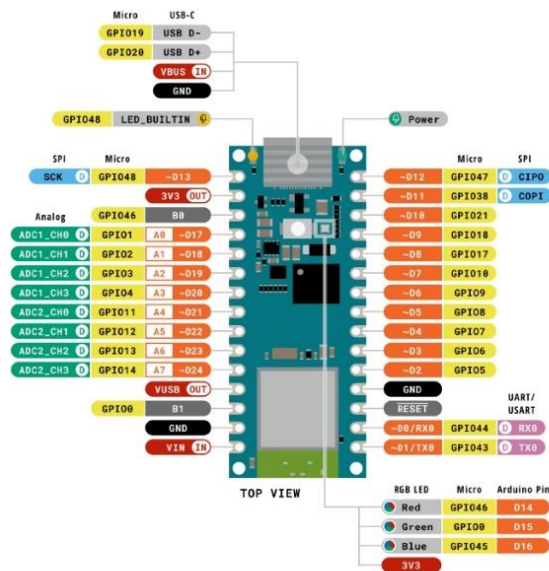
## 2 ESP32 Core

The Nano ESP32 uses the Arduino Board Package for ESP32 boards, a derivation of Espressif's arduino-esp32 core.

## Rating

### 3 Recommended Operating Conditions

| Symbol               | Description                      | Min | Typ | Max | Unit |
|----------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|------|
| V <sub>IN</sub>      | Input voltage from VIN pad       | 6   | 7.0 | 21  | V    |
| V <sub>USB</sub>     | Input voltage from USB connector | 4.8 | 5.0 | 5.5 | V    |
| T <sub>ambient</sub> | Ambient Temperature              | -40 | 25  | 105 | °C   |



| Legend: | Digital   | I2C        | Other SERIAL |
|---------|-----------|------------|--------------|
| Power   | Analog    | SPI        | Analog       |
| Ground  | Main Part | UART/USART | PWM/Timer    |

Nano ESP32  
 SKU code: A8388B3  
 Pinout  
 Last update: 14 July, 2023

Pinout for Nano ESP32.



### 12.1 Analog (JP1)

| Pin | Function  | Type   | Description  |
|-----|-----------|--------|--|
| 1   | D13 / SCK | NC     | Serial Clock   |
| 2   | +3V3      | Power  | +3V3 Power Rail                                      |
| 3   | BOOT0     | Mode   | Board Reset 0  |
| 4   | A0        | Analog | Analog input 0                                       |
| 5   | A1        | Analog | Analog input 1                                       |
| 6   | A2        | Analog | Analog input 2                                       |
| 7   | A3        | Analog | Analog input 3                                       |
| 8   | A4        | Analog | Analog input 4 / I <sup>2</sup> C Serial Data (SDA)  |
| 9   | A5        | Analog | Analog input 5 / I <sup>2</sup> C Serial Clock (SCL) |
| 10  | A6        | Analog | Analog input 6                                       |
| 11  | A7        | Analog | Analog input 7                                       |
| 12  | VBUS      | Power  | USB power (5V)                                       |
| 13  | BOOT1     | Mode   | Board Reset 1  |
| 14  | GND       | Power  | Ground   |
| 15  | VIN       | Power  | Voltage Input  |

### 12.2 Digital (JP2)

| Pin | Function    | Type     | Description                             |
|-----|-------------|----------|---|
| 1   | D12 / CIPO* | Digital  | Controller In Peripheral Out            |
| 2   | D11 / COPI* | Digital  | Controller Out Peripheral In            |
| 3   | D10 / CS*   | Digital  | Chip Select                             |
| 4   | D9          | Digital  | Digital pin 9                           |
| 5   | D8          | Digital  | Digital pin 8                           |
| 6   | D7          | Digital  | Digital pin 7                           |
| 7   | D6          | Digital  | Digital pin 6                           |
| 8   | D5          | Digital  | Digital pin 5                           |
| 9   | D4          | Digital  | Digital pin 4                           |
| 10  | D3          | Digital  | Digital pin 3                           |
| 11  | D2          | Digital  | Digital pin 2                           |
| 12  | GND         | Power    | Ground                                  |
| 13  | RST         | Internal | Reset                                   |
| 14  | D0/RX       | Digital  | Digital pin 1 / Serial Receiver (RX)    |
| 15  | D1/TX       | Digital  | Digital pin 0 / Serial Transmitter (TX) |

\*CIPO/COPI/CS replaces the MISO/MOSI/SS terminology.



**Anexo G. Hoja técnica de la pantalla táctil Nextion HMI 3.5”**

# NX4832T035

- Overview
- Nextion Models
- Specifications
- Electronic Characteristics
- Working Environment & Reliability Parameter
- Interfaces Performance
- Memory Features
- Product Dimensions



## Overview

Nextion is a seamless Human Machine Interface (HMI) solution that provides a control and visualisation interface between a human and a process, machine, application or appliance. Nextion is mainly applied to IoT or consumer electronics field. It is the best solution to replace the traditional LCD and LED Nixie tube. With the Nextion Editor software ([Official Download](#)), users are able to create and design their own interfaces for Nextion display.

Package includes: Nextion Display, connecting wire, a power supply test board.

Go Shopping: NX4832T035 (IM150918001)

Note: the small power supply test board and connecting wire inside the package allow you to test if the electrical supply is enough or not.

See the image below on how to use it.

## Caution:

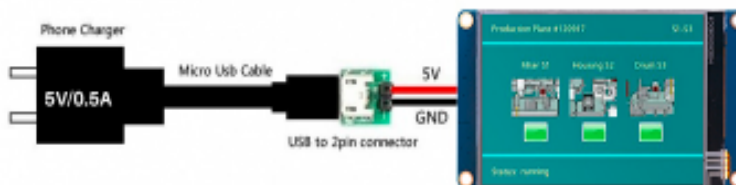


Working under insufficient power supply condition will damage the Nextion model easily.

Blurred screen? Flashing? You may be suffering from power shortages. Power off at the first possible moment. No more repeated attempts to damage your Nextion model.

A small connector is included in the package. Please try to power Nextion with your phone charger through the connector to check if Nextion works well.

A high quality usb cable is required.





**Nextion Models**

|                |              |
|----------------|--------------|
| Nextion Type   | Basic Series |
| Nextion Models | NX4832T035   |

**Specifications**

|                              | Data                         | Description                                  |
|------------------------------|------------------------------|--|
| Color                        | 04K 05530 colors             | 16 bit 505, 5R-0G-5B                         |
| Layout size                  | 100.5 (L)×54.94 (W)×5.45 (H) |  |
| Visual Area (V.A.)           | 85.50mm(L)×54.94mm(W)        |  |
| Active Area (A.A.)           | 73.44mm(L)×48.90mm(W)        |  |
| Resolution                   | 480×320 pixel                | Also can be set as 320×480                   |
| Touch type                   | Resistive                    |  |
| Touches                      | > 1 million                  |  |
| Backlight                    | LED                          |  |
| Backlight lifetime (Average) | >30,000 Hours                |  |
| Brightness                   | 180 nit                      | 0% to 100%, the interval of adjustment is 1% |
| Weight                       | 48.2g                        |  |

**Electronic Characteristics**

|                   | Test Conditions             | Min  | Typical | Max | Unit |
|-------------------|-----------------------------|------|---------|-----|------|
| Operating Voltage |                             | 4.75 | 5       | 7   | V    |
| Operating Current | VCC=+5V, Brightness is 100% | -    | 145     | -   | mA   |
|                   | SLEEP Mode                  | -    | 15      | -   | mA   |

Power supply recommend: 5V, 500mA, DC

**Working Environment & Reliability Parameter**

|                     | Test Conditions  | Min | Typical | Max | Unit |
|---------------------|------------------|-----|---------|-----|------|
| Working Temperature | 5V, Humidity 60% | -20 | 25      | 70  | °C   |
| Storage Temperature |                  | -30 | 25      | 85  | °C   |
| Working Humidity    | 25°C             | 10% | 60%     | 90% | RH   |



**Interfaces Performance**

|                      | Test Conditions  | Min  | Typical | Max    | Unit |
|----------------------|--|------|---------|--------|------|
| Serial Port Baudrate | Standard   | 2400 | 9600    | 921600 | bps  |
| Output High Voltage  | IOH=-1mA   | 3.0  | 3.2     |        | V    |
| Output Low Voltage   | IOL=1mA  |      | 0.1     | 0.2    | V    |
| Input High Voltage   |  | 2.0  | 3.3     | 5.0    | V    |
| Input Low Voltage    |  | -0.7 | 0.0     | 1.3    | V    |
| Serial Port Mode     | TTL 3.3V   |      |         |        |      |
| Serial Port          | 4Pin_2.54mm  |      |         |        |      |
| USB interface        | NO   |      |         |        |      |
| SD card socket       | Yes (FAT32 format), support maximum 32G Micro SD Card<br>* microSD card socket is exclusively used to upgrade Nextion firmware /HMI design |      |         |        |      |

**Memory Features**

| Memory Type  | Test Conditions        | Min | Typical | Max  | Unit |
|--------------|------------------------|-----|---------|------|------|
| FLASH Memory | Store fonts and images |     |         | 16   | MB   |
| RAM Memory   | Store variables        |     |         | 3584 | BYTE |

**Product Dimensions**

3.5" Nextion Dimension

**Product Certificates**

CE-EMC, RoHS





**Anexo H.** Hoja técnica del módulo GPS Mini NEO-M8N

Product summary

# NEO-M8 series

## Versatile u-blox M8 GNSS modules

**Versatile GNSS modules in different variants for easy manufacturing**

- Concurrent reception of up to 3 GNSS (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou)
- Industry leading –167 dBm navigation sensitivity
- Security and integrity protection
- Supports all satellite augmentation systems
- Advanced jamming and spoofing detection
- Product variants to meet performance and cost requirements
- Backward compatible with NEO-7 and NEO-6 families



12.2 × 16.0 × 2.4 mm



**Product description**

The NEO-M8 series of concurrent GNSS modules is built on the high-performing u-blox M8 GNSS engine in the industry-proven NEO form factor.

The NEO-M8 modules utilize concurrent reception of up to three GNSS systems (GPS/Galileo together with BeiDou or GLONASS), recognize multiple constellations simultaneously and provide outstanding positioning accuracy in scenarios where urban canyon or weak signals are involved. For even better and faster positioning improvement, the NEO-M8 series supports augmentation of QZSS, GAGAN and IMES together with WAAS, EGNOS, and MSAS. The NEO-M8 series also supports message integrity protection, geofencing, and spoofing detection with configurable interface settings to easily fit to customer applications.

The NEO-M8M is optimized for cost-sensitive applications, while NEO-M8N and NEO-M8Q provide the best performance. The future-proof NEO-M8N and NEO-M8J include an internal flash that allows future firmware updates. This makes NEO-M8N and NEO-M8J perfectly suited to industrial and automotive applications.

The I2C-compliant DDC interface provides connectivity and enables synergies with most u-blox cellular modules. For RF optimization, NEO-M8J, NEO-M8N, and NEO-M8Q feature an additional front-end LNA for easier antenna integration and a front-end SAW filter for increased jamming immunity. u-blox M8 modules use GNSS chips qualified according to AEC-Q100, are manufactured in ISO/TS 16949 certified sites, and are fully tested on a system level. Qualification tests are performed as stipulated in the ISO16750 standard: "Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment".

|                           | NEO-M8J | NEO-M8M | NEO-M8N | NEO-M8Q |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Grade</b>              |         |         |         |         |
| Automotive                |         |         |         |         |
| Professional              | •       | •       | •       | •       |
| Standard                  |         |         |         |         |
| <b>GNSS</b>               |         |         |         |         |
| GPS / QZSS                | •       | •       | •       | •       |
| GLONASS                   | •       | •       | •       | •       |
| Galileo                   | •       | •       | •       | •       |
| BeiDou                    | •       | •       | •       | •       |
| Number of concurrent GNSS | 3       | 3       | 3       | 3       |
| <b>Interfaces</b>         |         |         |         |         |
| UART                      | 1       | 1       | 1       | 1       |
| USB                       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| SPI                       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| DDC (I2C compliant)       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| <b>Features</b>           |         |         |         |         |
| Programmable (Flash)      | •       |         | •       |         |
| Data logging              | •       |         | •       |         |
| Additional SAW            | •       |         | •       | •       |
| Additional LNA            | •       |         | •       | •       |
| RTC crystal               | •       | •       | •       | •       |
| Oscillator                | C       | C       | T       | T       |
| Timepulse                 | 1       | 1       | 1       | 1       |
| <b>Power supply</b>       |         |         |         |         |
| 1.65 V – 3.6 V            |         | •       |         |         |
| 2.7 V – 3.6 V             | •       |         | •       | •       |

C = Crystal    T = TCXO

UBX-16000345 - R10





**NEO-M8 series**

**Features**

|                               |  |           |
|-------------------------------|--|-----------|
| Receiver type                 | 72-channel u-blox M8 engine<br>GPS/QZSS L1 C/A, GLONASS L10F<br>BeiDou B1I, Galileo E1B/C<br>SBAS L1 C/A: WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN |           |
| Nav. update rate <sup>1</sup> | Single GNSS: up to 18 Hz<br>2 concurrent GNSS: up to 10 Hz   |           |
| Position accuracy             | 2.5 m CEP  |           |
| Acquisition <sup>2</sup>      | NEO-M8N/Q  | NEO-M8M/J |
| Cold starts:                  | 26 s   | 26 s      |
| Aided starts:                 | 2 s  | 3 s       |
| Hot starts:                   | 1 s  | 1 s       |
| Sensitivity <sup>2</sup>      |  |           |
| Tracking & Nav.:              | -167 dBm   | -164 dBm  |
| Cold starts:                  | -148 dBm   | -148 dBm  |
| Hot starts:                   | -157 dBm   | -157 dBm  |
| Assistance GNSS               | AssistNow Online<br>AssistNow Offline (up to 35 days)<br>AssistNow Autonomous (up to 6 days)<br>OMA SUPL & 3GPP compliant          |           |
| Oscillator                    | TCXO (NEO-M8N/Q)<br>Crystal (NEO-M8M/J)  |           |
| RTC crystal                   | Built-in   |           |
| Anti jamming                  | Active CW detection and removal. Extra onboard SAW band pass filter (NEO-M8N/Q/J)  |           |
| Memory                        | ROM (NEO-M8M/Q) or flash (NEO-M8N/J)   |           |
| Supported antennas            | Active and passive   |           |
| Raw data                      | Code phase output  |           |
| Odometer                      | Integrated in navigation filter  |           |
| Geofencing                    | Up to 4 circular areas<br>GPIO for waking up external CPU  |           |
| Spoofing detection            | Built-in   |           |
| Signal integrity              | Signature feature with SHA 256   |           |
| Data-logger <sup>3</sup>      | For position, velocity, time, odometer data  |           |

<sup>1</sup> NEO-M8M/Q  
<sup>2</sup> For default mode: GPS/SBAS/QZSS+GLONASS  
<sup>3</sup> NEO-M8J and NEO-M8N

**Electrical data**

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Power supply             | 1.65 V to 3.6 V (NEO-M8M)<br>2.7 V to 3.6 V (NEO-M8N/Q/J) |
| Power                    | 21 mA at 3.0 V (Continuous)                               |
| Consumption <sup>4</sup> | 5.3 mA at 3.0 V Power Save mode (1 Hz)                    |
| Backup Supply            | 1.4 V to 3.6 V  |

<sup>4</sup> NEO-M8M in default mode: GPS/SBAS/QZSS+GLONASS

**Package**

24 pin LCC (Leadless Chip Carrier): 12.2 x 16.0 x 2.4 mm, 1.6 g

**Environmental data, quality & reliability**

|  |   |
|--|---|
| Operating temp.  | -40 °C to +85 °C  |
| Storage temp.  | -40 °C to +85 °C (NEO-M8N/Q/J)<br>-40 °C to +105 °C (NEO-M8M) |
| RoHS compliant (lead-free)   |   |
| Qualification according to ISO 16750                                     |   |
| Manufactured and fully tested in ISO/TS 16949 certified production sites |   |
| Uses u-blox M8 chips qualified according to AEC-Q100                     |   |

**Interfaces**

|                   |  |
|-------------------|--|
| Serial interfaces | 1 UART<br>1 USB V2.0 full speed 12 Mbit/s<br>1 SPI (optional)<br>1 DDC (I2C compliant) |
| Digital I/O       | Configurable timepulse<br>1 EXTINT input for Wakeup                                    |
| Timepulse         | Configurable: 0.25 Hz to 10 MHz  |
| Protocols         | NMEA, UBX binary, RTCM   |

**Support products**

u-blox M8 Evaluation Kits:  
 Easy-to-use kits to get familiar with u-blox M8 positioning technology, evaluate functionality, and visualize GNSS performance.

|         |   |
|---------|---|
| EVK-M8N | u-blox M8 GNSS Evaluation Kit, with TCXO, supports NEO-M8N/Q    |
| EVK-M8C | u-blox M8 GNSS Evaluation Kit, with crystal, supports NEO-M8M/J |

**Product variants**

|         |  |
|---------|--|
| NEO-M8J | u-blox M8 concurrent GNSS LCC module, crystal, flash, SAW, LNA |
| NEO-M8M | u-blox M8 concurrent GNSS LCC module, crystal, ROM             |
| NEO-M8N | u-blox M8 concurrent GNSS LCC module, TCXO, flash, SAW, LNA    |
| NEO-M8Q | u-blox M8 concurrent GNSS LCC module, TCXO, ROM, SAW, LNA      |

**Further information**

For contact information, see [www.u-blox.com/contact-u-blox](http://www.u-blox.com/contact-u-blox).  
 For more product details and ordering information, see the product data sheet.

UBX-16000345 - R10

**Legal Notice:**

u-blox reserves all rights to this document and the information contained herein. Products, names, logos and designs described herein may in whole or in part be subject to intellectual property rights. Reproduction, use, modification or disclosure to third parties of this document or any part thereof without the express permission of u-blox is strictly prohibited.  
 The information contained herein is provided "as is". No warranty of any kind, either express or implied, is made in relation to the accuracy, reliability, fitness for a particular purpose or content of this document. This document may be revised by u-blox at any time. For most recent documents, please visit [www.u-blox.com](http://www.u-blox.com).  
 Copyright © 2021, u-blox AG



**Anexo I. Hoja técnica de la tarjeta microSD SanDisk Extreme**

| Capacities             | Performance                                      |
|------------------------|--|
| 128GB-1TB <sup>1</sup> | C10, U3, V30, A2<br>160MB/s* read; 90MB/s* write |
| 64GB <sup>1</sup>      | C10, U3, V30, A2<br>160MB/s* read; 60MB/s* write |
| 32GB <sup>1</sup>      | C10, U3, V30, A1<br>100MB/s* read; 60MB/s* write |

**SanDisk Extreme<sup>®</sup> microSD<sup>™</sup> UHS-I Card with Adapter**

High-performance for flawless 4K video

**Highlights**

- Up to 160MB/s\* read speeds to save time transferring high-res images and 4K UHD videos.<sup>2</sup> **[100MB/s for 32GB]**
- Up to 90MB/s write speeds for fast continuous shots\* **[60MB/s for 32GB-64GB]**
- 4K UHD and Full HD-ready<sup>2</sup> with UHS Speed Class 3 (U3) and Video Speed Class 30 (V30)<sup>5</sup>
- Rated A2 for faster app loading and performance<sup>7</sup> **[A1 for 32GB]**
- Built for and tested in harsh conditions; temperature-proof, water-proof, shock-proof and x-ray proof<sup>4</sup>
- Compatible with SanDisk MobileMate<sup>®</sup> USB 3.0 microSD<sup>™</sup> Card Reader for speeds up to 160MB/s\*

**SanDisk Extreme<sup>®</sup> microSD<sup>™</sup> UHS-I Memory Card**

Get extreme speeds for fast transfer, app performance and 4K UHD video.<sup>2</sup> Ideal for your Android<sup>™</sup> smartphone, action cameras or drones, this high-performance microSD<sup>™</sup> card handles 4K UHD video recording, Full HD video and high-resolution photos. The SanDisk Extreme<sup>®</sup> microSDXC<sup>™</sup> memory card reads up to 160MB/s\* [100MB/s for 32GB] and writes up to 90MB/s\* [60MB/s for 32-64GB].

**Great for Capturing 4K UHD Video<sup>2</sup>**

Ideal for recording outdoor adventures, weekend trips, or sporting events without skipping frames. With up to 1TB<sup>1</sup>, the SanDisk Extreme<sup>®</sup> microSD<sup>™</sup> UHS-I card lets you capture uninterrupted 4K UHD and Full HD video<sup>2</sup> with its UHS Speed Class 3 (U3) and Video Speed Class 30 (V30) ratings.<sup>5</sup>

**Load Apps Faster with A2**

Get faster app performance for an outstanding smartphone experience thanks to the SanDisk Extreme<sup>®</sup> microSDXC card's A2 Specification [A1 for 32GB].<sup>7</sup>





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Includes:**

- SanDisk Memory Zone app<sup>3</sup>  
Manage your smartphone memory and media files
- Includes RescuePRO Deluxe 1-year data recovery software download offer<sup>6</sup>
- Adapter for compatibility with full size SDHC™ and SDXC™ devices

| <b>SanDisk Extreme<sup>®</sup> microSD™ UHS-I Card with Adapter Specifications</b> |   |
|--|---|
| <b>Form Factor</b>   | microSDHC™ and microSDXC™   |
| <b>Available Capacities</b>  | microSDHC: 32GB, 64GB, 128GB, 256GB, 400GB, 512GB, and 1TB <sup>1</sup>   |
| <b>Performance/Speed</b>   | 128GB-1TB: up to 160MB/s* read and 90MB/s* write speed<br>64GB: up to 160MB/s* read; 60MB/s* write speed<br>32GB: up to 100MB/s* read and 60MB/s* write speed |
| <b>Dimensions</b>  | microSDXC: 0.59in x 0.43in x 0.03in (14.99mm x 10.92mm x 1.02mm)<br>SD adapter: 1.26in x 0.94in x 0.08in (24mm x 32mm x 2.1mm)                                |
| <b>Operating Temperature</b>   | -13°F to 185°F (-25°C to 85°C)  |
| <b>Storage Temperature</b>   | -40°F to 185°F (-40°C to 85°C)  |
| <b>Compatibility</b>   | Compatible with microSDHC™ and microSDXC™ UHS-I supporting host devices<br>Includes adapter for compatibility with full size SDHC™ and SDXC™ devices          |
| <b>Warranty</b>  | Lifetime limited <sup>9</sup> (US only)<br>Lifetime <sup>9</sup>  |



For more information, please visit [www.sandisk.com](http://www.sandisk.com)



At SanDisk®, we're expanding the possibilities of data storage. For more than 25 years, SanDisk's ideas have helped transform the industry, delivering next generation storage solutions for consumers and businesses around the globe.

Western Digital Technologies, Inc.  
951 SanDisk Drive | Milpitas | CA 95035 | USA

Western Digital Technologies, Inc. is the seller of record and licensee in the Americas of SanDisk® products.

Not all devices support microSD memory card formats. Check with your device manufacturer for more details.

\* **For 128GB-1TB:** Up to 160MB/s read speeds, engineered with proprietary technology to reach speeds beyond UHS-I 104MB/s, requires compatible devices capable of reaching such speeds. Up to 90MB/s write speeds. **For 64GB:** Up to 160MB/s read speeds, engineered with proprietary technology to reach speeds beyond UHS-I 104MB/s, requires compatible devices capable of reaching such speeds. Up to 60MB/s write speeds. **For 32GB:** Up to 100MB/s read speeds; up to 60MB/s write speeds. Based on internal testing; performance may be lower depending upon host device interface, usage conditions and other factors. 1MB=1,000,000 bytes.  
<sup>1</sup> 1GB=1,000,000,000 bytes. **For 1TB:** 1TB=1,000,000,000,000 bytes. Actual user storage less.  
<sup>2</sup> Compatible device required. Full HD (1920x1080) and 4K UHD (3840x2160) support may vary based upon host device, file attributes and other factors. See [www.sandisk.com/HD](http://www.sandisk.com/HD).  
<sup>3</sup> See [www.sandisk.com/memoryzone](http://www.sandisk.com/memoryzone).  
<sup>4</sup> Card only. See [www.sandisk.com/proof](http://www.sandisk.com/proof) for additional information and limitations.  
<sup>5</sup> UHS Speed Class 3 (U3) designates a performance option designed to support real-time video recording with UHS-enabled host devices. Video Speed Class 30 (V30), sustained video capture rate of 30MB/s, designates a performance option designed to support real-time video recording with UHS-enabled host devices. See [www.sdcard.org/consumers/speed](http://www.sdcard.org/consumers/speed).  
<sup>6</sup> Registration required; terms and conditions apply.  
<sup>7</sup> **For 64GB-1TB:** A2 performance is 4000 read IOPS, 2000 write IOPS. **For 32GB:** A1 performance is 1500 read IOPS, 500 write IOPS. Results may vary based on host device, app type and other factors.  
<sup>8</sup> Read only, based on internal testing. Based on standard UHS-I microSD card speed of 100MB/s. Results may vary based on host device, file attributes and other factors.  
<sup>9</sup> 30-year warranty in Germany, Canada, and regions not recognizing lifetime warranty. See [www.sandisk.com/wug](http://www.sandisk.com/wug).  
 SanDisk, the SanDisk logo, MobileMate, RescuePRO and SanDisk Extreme are registered trademarks or trademarks of Western Digital Corporation or its affiliates in the US and/or other countries. The microSD, microSDHC and microSDXC marks and logos are trademarks of SD-3C, LLC. Android and Google Play are trademarks of Google LLC. All other marks are the property of their respective owners. ©2019 Western Digital Corporation or its affiliates. All rights reserved.



**Anexo J. Hoja técnica del sensor de movimiento MPU-9250 (IMU 9DOF)**

|                        |                                       |   |
|------------------------|---------------------------------------|---|
| <br>Sensing Everything | <b>MPU-9250 Product Specification</b> | Document Number: PS-MPU-9250A-01<br>Revision: 1.1<br>Release Date: 06/20/2016 |
|------------------------|---------------------------------------|---|

**3 Electrical Characteristics**

**3.1 Gyroscope Specifications**

Typical Operating Circuit of section 4.2, VDD = 2.5V, VDDIO = 2.5V, T<sub>A</sub>=25°C, unless otherwise noted.

| PARAMETER   | CONDITIONS                   | MIN | TYP   | MAX  | UNITS     |
|---|------------------------------|-----|-------|------|-----------|
| Full-Scale Range                                    | FS_SEL=0                     |     | ±250  |      | °/s       |
|   | FS_SEL=1                     |     | ±500  |      | °/s       |
|   | FS_SEL=2                     |     | ±1000 |      | °/s       |
|   | FS_SEL=3                     |     | ±2000 |      | °/s       |
| Gyroscope ADC Word Length                           |                              |     | 16    |      | bits      |
| Sensitivity Scale Factor                            | FS_SEL=0                     |     | 131   |      | LSB/(°/s) |
|   | FS_SEL=1                     |     | 65.5  |      | LSB/(°/s) |
|   | FS_SEL=2                     |     | 32.8  |      | LSB/(°/s) |
|   | FS_SEL=3                     |     | 16.4  |      | LSB/(°/s) |
| Sensitivity Scale Factor Tolerance                  | 25°C                         |     | ±3    |      | %         |
| Sensitivity Scale Factor Variation Over Temperature | -40°C to +85°C               |     | ±4    |      | %         |
| Nonlinearity  | Best fit straight line, 25°C |     | ±0.1  |      | %         |
| Cross-Axis Sensitivity                              |                              |     | ±2    |      | %         |
| Initial ZRO Tolerance                               | 25°C                         |     | ±5    |      | °/s       |
| ZRO Variation Over Temperature                      | -40°C to +85°C               |     | ±30   |      | °/s       |
| Total RMS Noise                                     | DLPFCFG=2 (92 Hz)            |     | 0.1   |      | °/s-rms   |
| Rate Noise Spectral Density                         |                              |     | 0.01  |      | °/s/√Hz   |
| Gyroscope Mechanical Frequencies                    |                              | 25  | 27    | 29   | KHz       |
| Low Pass Filter Response                            | Programmable Range           | 5   |       | 250  | Hz        |
| Gyroscope Startup Time                              | From Sleep mode              |     | 35    |      | ms        |
| Output Data Rate                                    | Programmable, Normal mode    | 4   |       | 8000 | Hz        |

**Table 1 Gyroscope Specifications**

**3.2 Accelerometer Specifications**

Typical Operating Circuit of section 4.2, VDD = 2.5V, VDDIO = 2.5V, T<sub>A</sub>=25°C, unless otherwise noted.

| PARAMETER                            | CONDITIONS                                | MIN  | TYP    | MAX  | UNITS  |
|--------------------------------------|---|------|--------|------|--------|
| Full-Scale Range                     | AFS_SEL=0                                 |      | ±2     |      | g      |
|                                      | AFS_SEL=1                                 |      | ±4     |      | g      |
|                                      | AFS_SEL=2                                 |      | ±8     |      | g      |
|                                      | AFS_SEL=3                                 |      | ±16    |      | g      |
| ADC Word Length                      | Output in two's complement format         |      | 16     |      | bits   |
| Sensitivity Scale Factor             | AFS_SEL=0                                 |      | 16,384 |      | LSB/g  |
|                                      | AFS_SEL=1                                 |      | 8,192  |      | LSB/g  |
|                                      | AFS_SEL=2                                 |      | 4,096  |      | LSB/g  |
|                                      | AFS_SEL=3                                 |      | 2,048  |      | LSB/g  |
| Initial Tolerance                    | Component-Level                           |      | ±3     |      | %      |
| Sensitivity Change vs. Temperature   | -40°C to +85°C AFS_SEL=0                  |      | ±0.026 |      | %/°C   |
|                                      | Component-level                           |      |        |      |        |
| Nonlinearity                         | Best Fit Straight Line                    |      | ±0.5   |      | %      |
| Cross-Axis Sensitivity               |   |      | ±2     |      | %      |
| Zero-G Initial Calibration Tolerance | Component-level, X,Y                      |      | ±60    |      | mg     |
|                                      | Component-level, Z                        |      | ±80    |      | mg     |
| Zero-G Level Change vs. Temperature  | -40°C to +85°C                            |      | ±1.5   |      | mg/°C  |
| Noise Power Spectral Density         | Low noise mode                            |      | 300    |      | µg/√Hz |
| Total RMS Noise                      | DLPFCFG=2 (94Hz)                          |      |        | 8    | mg-rms |
| Low Pass Filter Response             | Programmable Range                        | 5    |        | 260  | Hz     |
| Intelligence Function Increment      |   |      | 4      |      | mg/LSB |
| Accelerometer Startup Time           | From Sleep mode                           |      | 20     |      | ms     |
|                                      | From Cold Start, 1ms V <sub>DD</sub> ramp |      | 30     |      | ms     |
| Output Data Rate                     | Low power (duty-cycled)                   | 0.24 |        | 500  | Hz     |
|                                      | Duty-cycled, over temp                    |      | ±15    |      | %      |
|                                      | Low noise (active)                        | 4    |        | 4000 | Hz     |

**Table 2 Accelerometer Specifications**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**3.4 Electrical Specifications**

**3.4.1 D.C. Electrical Characteristics**

Typical Operating Circuit of section 4.2, VDD = 2.5V, VDDIO = 2.5V, TA=25°C, unless otherwise noted.

| PARAMETER  | CONDITIONS  | MIN  | TYP  | MAX | Units | Notes |
|--|---|------|------|-----|-------|-------|
| <b>SUPPLY VOLTAGES</b>   |   |      |      |     |       |       |
| VDD  |   | 2.4  | 2.5  | 3.6 | V     |       |
| VDDIO  |   | 1.71 | 1.8  | VDD | V     |       |
| <b>SUPPLY CURRENTS</b>   |   |      |      |     |       |       |
| Normal Mode  | 9-axis (no DMP), 1 kHz gyro ODR, 4 kHz accel ODR, 8 Hz mag. repetition rate         |      | 3.7  |     | mA    |       |
|  | 6-axis (accel + gyro, no DMP), 1 kHz gyro ODR, 4 kHz accel ODR                      |      | 3.4  |     | mA    |       |
|  | 3-axis Gyroscope only (no DMP), 1 kHz ODR   |      | 3.2  |     | mA    |       |
|  | 6-axis (accel + magnetometer, no DMP), 4 kHz accel ODR, mag. repetition rate = 8 Hz |      | 730  |     | µA    |       |
|  | 3-Axis Accelerometer, 4kHz ODR (no DMP)   |      | 450  |     | µA    |       |
|  | 3-axis Magnetometer only (no DMP), 8 Hz repetition rate                             |      | 280  |     | µA    |       |
| Accelerometer Low Power Mode (DMP, Gyroscope, Magnetometer disabled) | 0.98 Hz update rate   |      | 8.4  |     | µA    | 1     |
|  | 31.25 Hz update rate  |      | 19.8 |     | µA    | 1     |
| Full Chip Idle Mode Supply Current                                   |   |      | 8    |     | µA    |       |
| <b>TEMPERATURE RANGE</b>   |   |      |      |     |       |       |
| Specified Temperature Range  | Performance parameters are not applicable beyond Specified Temperature Range        | -40  |      | +85 | °C    |       |

**Table 3 D.C. Electrical Characteristics**

**3.4.2 A.C. Electrical Characteristics**

Typical Operating Circuit of section 4.2, VDD = 2.5V, VDDIO = 2.5V, TA=25°C, unless otherwise noted.

| Parameter  | Conditions   | MIN                  | TYP                | MAX          | Units          |
|--|--|----------------------|--------------------|--------------|----------------|
| Supply Ramp Time   | Monotonic ramp. Ramp rate is 10% to 90% of the final value | 0.1                  |                    | 100          | ms             |
| Operating Range  | Ambient  | -40                  |                    | 85           | °C             |
| Sensitivity  | Untrimmed  |                      | 333.87             |              | LSB/°C         |
| Room Temp Offset   | 21°C   |                      | 0                  |              | LSB            |
| Supply Ramp Time (TRAMP)   | Valid power-on RESET                                       | 0.01                 | 20                 | 100          | ms             |
| Start-up time for register read/write  | From power-up  |                      | 11                 | 100          | ms             |
| <b>I<sup>2</sup>C ADDRESS</b>  | AD0 = 0<br>AD0 = 1   |                      | 1101000<br>1101001 |              |                |
| V <sub>IH</sub> , High Level Input Voltage                                       |  | 0.7*VDDIO            |                    |              | V              |
| V <sub>IL</sub> , Low Level Input Voltage  |  |                      |                    | 0.3*VDDIO    | V              |
| C <sub>i</sub> , Input Capacitance   |  |                      | < 10               |              | pF             |
| V <sub>OH</sub> , High Level Output Voltage                                      | R <sub>LOAD</sub> =1MΩ;                                    | 0.9*VDDIO            |                    |              | V              |
| V <sub>OL1</sub> , LOW-Level Output Voltage                                      | R <sub>LOAD</sub> =1MΩ;                                    |                      |                    | 0.1*VDDIO    | V              |
| V <sub>OLINT1</sub> , INT Low-Level Output Voltage                               | OPEN=1, 0.3mA sink Current                                 |                      |                    | 0.1          | V              |
| Output Leakage Current   | OPEN=1   |                      | 100                |              | nA             |
| t <sub>INT</sub> , INT Pulse Width   | LATCH_INT_EN=0   |                      | 50                 |              | µs             |
| V <sub>IL</sub> , LOW Level Input Voltage  |  | -0.5V                |                    | 0.3*VDDIO    | V              |
| V <sub>IH</sub> , HIGH-Level Input Voltage                                       |  | 0.7*VDDIO            |                    | VDDIO + 0.5V | V              |
| V <sub>hys</sub> , Hysteresis  |  |                      | 0.1*VDDIO          |              | V              |
| V <sub>OL</sub> , LOW-Level Output Voltage                                       | 3mA sink current   | 0                    |                    | 0.4          | V              |
| I <sub>OL</sub> , LOW-Level Output Current                                       | V <sub>OL</sub> =0.4V<br>V <sub>OL</sub> =0.6V             |                      | 3<br>6             |              | mA<br>mA       |
| Output Leakage Current   |  |                      | 100                |              | nA             |
| t <sub>fd</sub> , Output Fall Time from V <sub>IHmax</sub> to V <sub>ILmax</sub> | C <sub>b</sub> bus capacitance in pF                       | 20+0.1C <sub>b</sub> |                    | 250          | ns             |
| V <sub>IL</sub> , LOW-Level Input Voltage  |  | -0.5V                |                    | 0.3*VDDIO    | V              |
| V <sub>IH</sub> , HIGH-Level Input Voltage                                       |  | 0.7* VDDIO           |                    | VDDIO + 0.5V | V              |
| V <sub>hys</sub> , Hysteresis  |  |                      | 0.1* VDDIO         |              | V              |
| V <sub>OL1</sub> , LOW-Level Output Voltage                                      | VDDIO > 2V, 1mA sink current                               | 0                    |                    | 0.4          | V              |
| V <sub>OL3</sub> , LOW-Level Output Voltage                                      | VDDIO < 2V, 1mA sink current                               | 0                    |                    | 0.2* VDDIO   | V              |
| I <sub>OL</sub> , LOW-Level Output Current                                       | V <sub>OL</sub> = 0.4V<br>V <sub>OL</sub> = 0.6V           |                      | 3<br>6<br>100      |              | mA<br>mA<br>nA |
| Output Leakage Current   |  |                      | 100                |              | nA             |
| t <sub>fr</sub> , Output Fall Time from V <sub>IHmax</sub> to V <sub>ILmax</sub> | C <sub>b</sub> bus capacitance in pF                       | 20+0.1C <sub>b</sub> |                    | 250          | ns             |
| Sample Rate  | Fchoice=0,1,2<br>SMP_LRT_DIV=0                             |                      | 32                 |              | kHz            |
|  | Fchoice=3;<br>DLPF_CFG=0 or 7<br>SMP_LRT_DIV=0             |                      | 8                  |              | kHz            |
|  | Fchoice=3;<br>DLPF_CFG=1,2,3,4,5,6;<br>SMP_LRT_DIV=0       |                      | 1                  |              | kHz            |
| Clock Frequency Initial Tolerance  | CLK_SEL=0, 6; 25°C   | -2                   |                    | +2           | %              |



**Anexo K.** Hoja técnica del sensor de presión y temperatura BMP280

Bosch Sensortec



# BMP280

## Digital, barometric pressure sensor

**GENERAL DESCRIPTION**

BMP280 is an absolute barometric pressure sensor especially designed for mobile applications. The sensor module is housed in an extremely compact package. Its small dimensions and its low power consumption allow for the implementation in battery driven devices such as mobile phones, GPS modules or watches.

As its predecessor BMP180, the BMP280 is based on Bosch's proven piezo-resistive pressure sensor technology featuring high accuracy and linearity as well as long term stability and high EMC robustness.

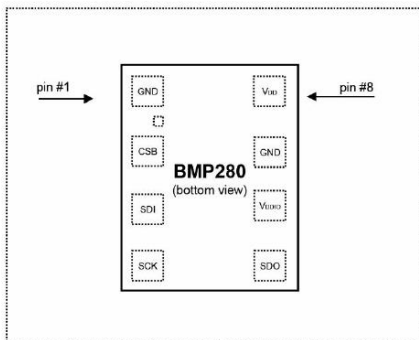
Numerous device operation options offer highest flexibility to optimize the device regarding power consumption, resolution and filter performance. A tested set of default settings for example use case is provided to the developer in order to make design-in as easy as possible.

**BMP280 TARGET APPLICATIONS**

- ▶ Enhancement of GPS navigation (e.g. time-to-first-fix improvement, dead-reckoning, slope detection)
- ▶ Indoor navigation (floor detection, elevator detection)
- ▶ Outdoor navigation, leisure and sports applications
- ▶ Weather forecast
- ▶ Vertical velocity indication (e.g. rise/sink speed)

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

| BMP280 (preliminary) Technical data                                    |  |
|--|--|
| Package dimensions   | 8-pin LGA with metal<br>2.0 x 2.5 x 0.95 mm <sup>3</sup>       |
| Operation range (full accuracy)  | Pressure: 300 ... 1100 hPa<br>Temperature: 0 ... +65 °C        |
| Supply voltage V <sub>DDIO</sub>                                       | 1.2 ... 3.6 V  |
| Supply voltage V <sub>DD</sub>   | 1.71 ... 3.6 V   |
| Interface  | I <sup>2</sup> C and SPI                                       |
| Average current consumption (typ.) (1 Hz data refresh rate)            | 2.74 µA<br>(ultra-low power mode)                              |
| Average current consumption in sleep mode                              | 0.1 µA   |
| Average measurement time   | 5.5 msec<br>(ultra-low power preset)                           |
| Resolution of data   | Pressure: 0.18 Pa<br>(equiv. to <10 cm)<br>Temperature: 0.01 K |
| Absolute accuracy<br>P = 950 ... 1100 hPa<br>(T = 0 ... +65 °C)        | ~ ±1 hPa   |
| Relative accuracy<br>pressure (typ.)<br>p=950 ... 1050 hPa<br>(+25 °C) | ± 0.12 hPa<br>(equiv. to ±1 m)                                 |
| Temperature coefficient offset<br>(+25° ... +40 °C @900hPa)            | 1.5 Pa/K<br>(equiv. to 12.6 cm/K)                              |



Pin configuration (bottom view)

At the same time BMP280 features more application flexibility, new filter modes and SPI interface besides the shrinkage of footprint by 63 % with respect to BMP180.

**SENSOR OPERATION**

The BMP280 features I<sup>2</sup>C and SPI (3-wire/4-wire) digital, serial interfaces.

The sensor can be operated in two power modes: The normal mode and the forced mode. In normal mode the sensor automatically cycles between a measurement and a standby period. This mode is recommended when using BMP280 built-in IIR filter when short-term disturbances (e.g. blowing into the sensor) need to be filtered. In forced mode the sensor performs a single measurement on request and returns to sleep mode afterwards. This mode is recommended for applications which require low sampling rate or host-based synchronization.

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

| Pin | Name              | Function                 |
|-----|-------------------|--------------------------|
| 1   | GND               | Ground                   |
| 2   | CSB               | Chip select              |
| 3   | SDI               | Serial data              |
| 4   | SCK               | Serial clock input       |
| 5   | SDO               | Serial data output       |
| 6   | V <sub>DDIO</sub> | Digital/Interface supply |
| 7   | GND               | Ground                   |
| 8   | V <sub>DD</sub>   | Analog supply            |

**TECHNOLOGY AND SPECIFICATION**

The sensor module is housed in an extremely compact 8-pin metal-lid LGA package with a footprint of only 2.0 x 2.5 mm<sup>2</sup> and 0.95 mm package height. Its small dimensions and its low power consumption of 2.74 µA @1Hz allow the implementation in battery driven devices.

The emerging applications of indoor navigation as well as GPS refinement require a high relative accuracy and a low TCO at the same time.

The BMP280 is perfectly suitable for applications like floor level detection since the sensors features excellent relative accuracy of ±0.12 hPa, which is equivalent to ±1 m difference in altitude, and an offset temperature coefficient (TCO) of only 1.5 Pa/K (equivalent to 12.6 cm/K).

As the successor of the widely implemented BMP180, which initially enabled barometric pressure measurement in high volumes in mobile handsets in 2011, BMP280 achieves high performance in all applications requiring a precise pressure measurement.

Internal oversampling rates for pressure and temperature measurement can be selected independently between 1, 2, 4, 8 and 16 times oversampling. In combination with several short term disturbance filter settings, sensor can be programmed in a very flexible way in order to adapt to application and power management requirements.

For easy design-in default settings are provided to the developer, which are optimized to several example use-cases for barometric pressure sensors like weather monitoring, elevator/ stair case detection, drop detection or indoor navigation.

**SOFTWARE**

The Altitude Content Provider ACP2.0 software is available as software package for BMP280 in order to calculate the altitude with best possible accuracy. The ACP2.0 uses the sea level pressure to calculate the altitude, compensating for the non-sphericallity of the earth by geoid correction and compares its altitude with current altitude given by the GPS module, if available.

**SYSTEM COMPATIBILITY**

The BMP280 has been designed for best possible fit into modern mobile consumer electronics devices. Besides the ultra-small footprint and very low power consumption, the BMP280 has very wide ranges for V<sub>DD</sub> and V<sub>DDIO</sub> supply voltages.

Headquarters  
 Bosch Sensortec GmbH  
 Gerhard-Kindler-Strasse 9  
 72770 Reutlingen - Germany  
 Telephone +49 7121 3535 900  
 Fax +49 7121 3535 909  
 www.bosch-sensortec.com

Data & Specification are preliminary and subject to change without notice | | Bosch Sensortec GmbH reserves all rights in the event of industrial property rights. We reserve all rights of disposal such as copying and passing on to third parties. BOSCH and the symbols are registered trademarks of Robert Bosch GmbH, Germany.

Doc.-Number: BST-BMP280-FL000-00 / Version\_1.0\_092012



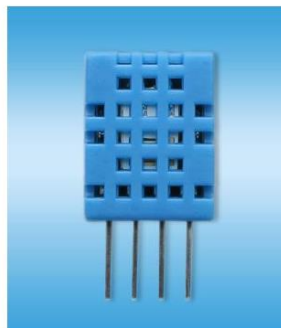
**Anexo L. Hoja técnica del sensor de temperatura y humedad DHT11**

**AOSONG**

Temp, Humidity & Dew point measurement experts

**1、 Product Overview**

DHT11 digital temperature and humidity sensor is a composite Sensor contains a calibrated digital signal output of the temperature and humidity. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a resistive sense of wet components and an NTC temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller.



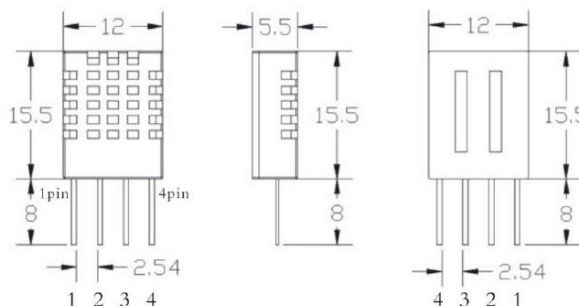
**2、 Applications**

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, weather stations, home appliances, humidity regulator, medical and other humidity measurement and control.

**3、 Features**

Low cost, long-term stability, relative humidity and temperature measurement, excellent quality, fast response, strong anti-interference ability, long distance signal transmission, digital signal output, and precise calibration.

**4、 Dimensions (unit: mm)**



Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd. TEL: 020-36042809 / 36380552 www.aosong.com



# AOSONG

Temp, Humidity & Dew point measurement experts

## 5、Product parameters

Relative humidity  
 Resolution: 16Bit  
 Repeatability:  $\pm 1\%$  RH  
 Accuracy: At 25°C  $\pm 5\%$  RH  
 Interchangeability: fully interchangeable  
 Response time: 1 / e (63%) of 25°C 6s  
 1m / s air 6s  
 Hysteresis:  $< \pm 0.3\%$  RH  
 Long-term stability:  $< \pm 0.5\%$  RH / yr in

Temperature  
 Resolution: 16Bit  
 Repeatability:  $\pm 0.2^\circ\text{C}$   
 Range: At 25°C  $\pm 2^\circ\text{C}$   
 Response time: 1 / e (63%) 10S

Electrical Characteristics  
 Power supply: DC 3.5 ~ 5.5V  
 Supply Current: measurement 0.3mA standby 60 $\mu$  A  
 Sampling period: more than 2 seconds

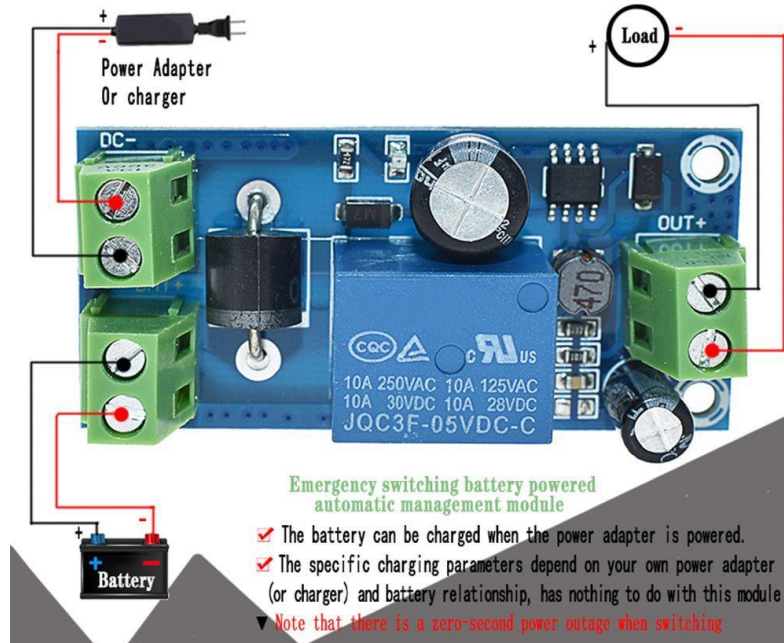
Pin Description  
 1, the VDD power supply 3.5 ~ 5.5V DC  
 2 DATA serial data, a single bus  
 3, NC, empty pin  
 4, GND ground, the negative power



**Anexo M. Hoja técnica del módulo conmutador YX850 (UPS)**

## YX850 Emergency Converter

DC 5V-48V automatic identification



## DC5V-48V automatic identification

- ✓ When the DC terminal has power, it is connected to the battery to charge
- ✓ Charging parameters have nothing to do with this module, depending on your DC terminal, battery, and load



**Product Name:** Power failure automatic switching module  
**Product model:** YX850  
**Scope of application:** DC5V-48V  
**Product load:** 10A  
**Product size:** 61\* 30\* 18MM  
**Product weight:** 23.9g



**Anexo N. Hoja técnica del regulador de voltaje LM2596**



**DATA SHEET**  
[www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

## 3.0 A, Step-Down Switching Regulator

### LM2596

The LM2596 regulator is monolithic integrated circuit ideally suited for easy and convenient design of a step-down switching regulator (buck converter). It is capable of driving a 3.0 A load with excellent line and load regulation. This device is available in adjustable output version and it is internally compensated to minimize the number of external components to simplify the power supply design.

Since LM2596 converter is a switch-mode power supply, its efficiency is significantly higher in comparison with popular three-terminal linear regulators, especially with higher input voltages.

The LM2596 operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-lead TO-220 package with several different lead bend options, and D<sup>2</sup>PAK surface mount package.

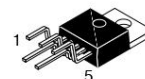
The other features include a guaranteed  $\pm 4\%$  tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and  $\pm 15\%$  on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 80  $\mu$ A (typical) standby current. Self protection features include switch cycle-by-cycle current limit for the output switch, as well as thermal shutdown for complete protection under fault conditions.

**Features**

- Adjustable Output Voltage Range 1.23 V – 37 V
- Guaranteed 3.0 A Output Load Current
- Wide Input Voltage Range up to 40 V
- 150 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode, typ 80  $\mu$ A
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- Internal Loop Compensation
- Moisture Sensitivity Level (MSL) Equals 1
- These Devices are Pb-Free

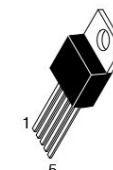
**Applications**

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Boost)
- Negative Step-Up Converters
- Power Supply for Battery Chargers



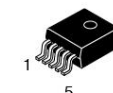
**TO-220  
TV SUFFIX  
CASE 314B**

Heatsink surface connected to Pin 3



**TO-220  
T SUFFIX  
CASE 314D**

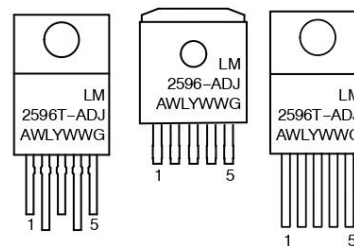
- Pin
1.  $V_{in}$
  2. Output
  3. Ground
  4. Feedback
  5. ON/OFF



**D<sup>2</sup>PAK  
D2T SUFFIX  
CASE 936A**

Heatsink surface (shown as terminal 6 in case outline drawing) is connected to Pin 3

**MARKING DIAGRAMS**



- A = Assembly Location
- WL = Wafer Lot
- Y = Year
- WW = Work Week
- G = Pb-Free Package

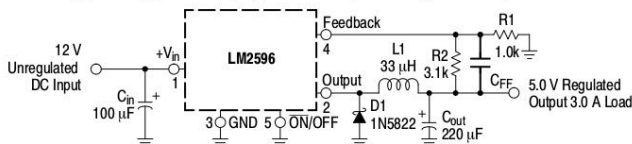
**ORDERING INFORMATION**

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 23 of this data sheet.

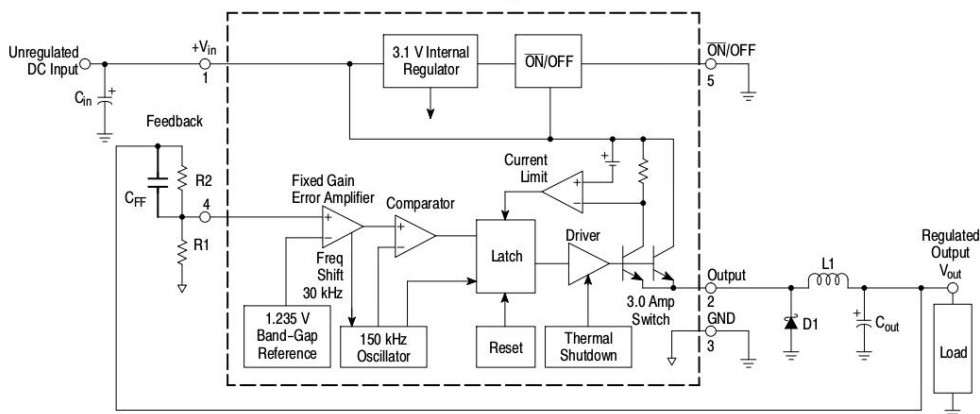


**LM2596**

**Typical Application (Adjustable Output Voltage Version)**



**Block Diagram**



**Figure 1. Typical Application and Internal Block Diagram**

**MAXIMUM RATINGS**

| Rating   | Symbol          | Value                               | Unit                        |
|--|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Maximum Supply Voltage   | $V_{in}$        | 45                                  | V                           |
| $\overline{ON}/OFF$ Pin Input Voltage  | –               | $-0.3\text{ V} \leq V \leq +V_{in}$ | V                           |
| Output Voltage to Ground (Steady-State)  | –               | -1.0                                | V                           |
| Power Dissipation  |                 |                                     |                             |
| Case 314B and 314D (TO-220, 5-Lead)  | $P_D$           | Internally Limited                  | W                           |
| Thermal Resistance, Junction-to-Ambient  | $R_{\theta JA}$ | 65                                  | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |
| Thermal Resistance, Junction-to-Case   | $R_{\theta JC}$ | 5.0                                 | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |
| Case 936A (D <sup>2</sup> PAK)   | $P_D$           | Internally Limited                  | W                           |
| Thermal Resistance, Junction-to-Ambient  | $R_{\theta JA}$ | 70                                  | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |
| Thermal Resistance, Junction-to-Case   | $R_{\theta JC}$ | 5.0                                 | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |
| Storage Temperature Range  | $T_{stg}$       | -65 to +150                         | $^{\circ}\text{C}$          |
| Minimum ESD Rating (Human Body Model: $C = 100\text{ pF}$ , $R = 1.5\text{ k}\Omega$ ) | –               | 2.0                                 | kV                          |
| Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)   | –               | 260                                 | $^{\circ}\text{C}$          |
| Maximum Junction Temperature   | $T_J$           | 150                                 | $^{\circ}\text{C}$          |

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**LM2596**

**SYSTEM PARAMETERS**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** Specifications with standard type face are for  $T_j = 25^\circ\text{C}$ , and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$

| Characteristics  | Symbol        | Min                  | Typ        | Max                  | Unit          |
|--|---------------|----------------------|------------|----------------------|---------------|
| <b>LM2596</b> (Note 1, Test Circuit Figure 15)   |               |                      |            |                      |               |
| Feedback Voltage ( $V_{in} = 12\text{ V}$ , $I_{Load} = 0.5\text{ A}$ , $V_{out} = 5.0\text{ V}$ , )   | $V_{FB\_nom}$ |                      | 1.23       |                      | V             |
| Feedback Voltage ( $8.5\text{ V} \leq V_{in} \leq 40\text{ V}$ , $0.5\text{ A} \leq I_{Load} \leq 3.0\text{ A}$ , $V_{out} = 5.0\text{ V}$ ) | $V_{FB}$      | 1.193<br><b>1.18</b> |            | 1.267<br><b>1.28</b> | V             |
| Efficiency ( $V_{in} = 12\text{ V}$ , $I_{Load} = 3.0\text{ A}$ , $V_{out} = 5.0\text{ V}$ )   | $\eta$        | -                    | 73         | -                    | %             |
| Feedback Bias Current ( $V_{out} = 5.0\text{ V}$ )   | $I_b$         |                      | 25         | 100<br><b>200</b>    | nA            |
| Oscillator Frequency (Note 2)  | $f_{osc}$     | 135<br><b>120</b>    | 150        | 165<br><b>180</b>    | kHz           |
| Saturation Voltage ( $I_{out} = 3.0\text{ A}$ , Notes 3 and 4)   | $V_{sat}$     |                      | 1.5        | 1.8<br><b>2.0</b>    | V             |
| Max Duty Cycle "ON" (Note 4)   | DC            |                      | 95         |                      | %             |
| Current Limit (Peak Current, Notes 2 and 3)  | $I_{CL}$      | 4.2<br><b>3.5</b>    | 5.6        | 6.9<br><b>7.5</b>    | A             |
| Output Leakage Current (Notes 5 and 6)<br>Output = 0 V<br>Output = -1.0 V  | $I_L$         |                      | 0.5<br>6.0 | 2.0<br>20            | mA            |
| Quiescent Current (Note 5)   | $I_Q$         |                      | 5.0        | 10                   | mA            |
| Standby Quiescent Current (ON/OFF Pin = 5.0 V ("OFF"))<br>(Note 6)   | $I_{stby}$    |                      | 80         | 200<br><b>250</b>    | $\mu\text{A}$ |

**ON/OFF PIN LOGIC INPUT**

|  |          |                   |     |                   |   |
|--|----------|-------------------|-----|-------------------|---|
| Threshold Voltage  |          |                   | 1.6 |                   | V |
| $V_{out} = 0\text{ V}$ (Regulator OFF)                   | $V_{IH}$ | 2.2<br><b>2.4</b> |     |                   | V |
| $V_{out} = \text{Nominal Output Voltage}$ (Regulator ON) | $V_{IL}$ |                   |     | 1.0<br><b>0.8</b> | V |

**ON/OFF Pin Input Current**

|                                    |          |   |      |     |               |
|------------------------------------|----------|---|------|-----|---------------|
| ON/OFF Pin = 5.0 V (Regulator OFF) | $I_{IH}$ | - | 15   | 30  | $\mu\text{A}$ |
| ON/OFF Pin = 0 V (regulator ON)    | $I_{IL}$ | - | 0.01 | 5.0 | $\mu\text{A}$ |

- External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 15 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section.
- The oscillator frequency reduces to approximately 30 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.
- No diode, inductor or capacitor connected to output (Pin 2) sourcing the current.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to 0 V.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to +12 V to force the output transistor "off".
- $V_{in} = 40\text{ V}$ .

**Anexo O.** Hoja técnica del módulo GPS Teltonika FMC130



**TELTONIKA** | Telematics

DATASHEET // FMC130

# FMC130

## ADVANCED LTE TERMINAL WITH FLEXIBLE INPUTS CONFIGURATION

FMC130 is small and professional real-time tracking terminal with GNSS and LTE/3G/GSM connectivity and backup battery. Device equipped with GNSS/Bluetooth and LTE modules, internal GNSS, LTE antennas, configurable digital, analogue inputs and digital outputs, negative input, impulse inputs. It is perfectly suitable for applications where location acquirement of remote objects is needed: fleet management, car rental companies, taxi companies, public transport, logistics companies, personal cars and so on.



Reliable 4G connection with fallback to 3G network



Configurable DIN/AIN for flexible remote monitoring and control.



CAN data reading from vehicles and specialized transport



Allows device to work without external power source



Negative input will allow easier installation of accessories



Impulse inputs for fuel flow meters data reading

## USE CASES



LIGHT VEHICLES



HEAVY DUTY TRANSPORT



TRAILER TRACKING



REFRIGERATED TRANSPORT



INTERNATIONAL LOGISTICS



CAR SHARING



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



DATASHEET // FMC130



**Module**

|            |  |
|------------|--|
| Name       | MeiG SLM320-E, MeiG SLM320-LA, Quectel EC21-EC, Quectel EC21-AU, Quectel EC21-J, Quectel EC21-KL, Teltonika TM2500 |
| Technology | LTE(Cat1)/3G(UMTS/HSPA)/2G(GSM/GPRS)/GNSS/BLUETOOTH  |

**GNSS**

|                      |   |
|----------------------|---|
| GNSS                 | GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS, AGPS |
| Receiver             | Tracking: 33                              |
| Tracking sensitivity | -165 dBm                                  |
| Position Accuracy    | < 2.5 CEP                                 |
| Velocity Accuracy    | < 0.1 m/s (within +/- 15% error)          |
| Hot start            | < 1 s                                     |
| Warm start           | < 25 s                                    |
| Cold start           | < 35 s                                    |

**Cellular**

|                        |   |
|------------------------|---|
| Technology             | LTE Cat 1, UMTS, GSM  |
| 2G bands (SLM320)      | FMC130-ME1: GSM: B2/B3/B5/B8<br>FMC130-ME3: GSM: B2/B3/B5/B8<br>FMC130-ML1: GSM: B2/B3/B5/B8  |
| 2G bands (EC21)        | EC21-EC: GSM: B3/B8<br>EC21-AU: GSM: B2/B3/B5/B8  |
| 3G bands (EC21)        | EC21-AU: WCDMA: B1/B2/B5/B8<br>EC21-EC: WCDMA: B1/B8  |
| 4G bands (SLM320)      | FMC130-ME1: LTE FDD: B1/B3/B5/B7/B8/B20<br>LTE-TDD:B38/B40/B41<br>FMC130-ME3: LTE FDD: B1/B3/B7/B8/B20/B28<br>LTE-TDD:B38/B40/B41<br>FMC130-ML1: LTE FDD: B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B20/B28<br>LTE-TDD:B40 |
| 4G bands (EC21)        | EC21-EC: LTE FDD: B1/B3/B7/B8/B20/B28A<br>EC21-AU: LTE FDD: B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B28/<br>LTE TDD: B40<br>EC21-J: LTE FDD: B1/B3/B8/B18/B19/B26<br>EC21-KL: LTE FDD: B1/B3/B8/B18/B19/B26              |
| Data transfer (SLM320) | LTE: LTE FDD: Max 10Mbps (DL)/Max 5Mbps (UL)<br>LTE TDD: Max 8Mbps (DL)/Max 2Mbps (UL)<br>GSM: GPRS: Max 85.6Kbps (DL)/Max 85.6Kbps (UL)  |
| Data transfer (EC21)   | LTE: LTE FDD: Max 10Mbps (DL)/Max 5Mbps (UL)<br>LTE TDD: Max 8.96Mbps (DL)/Max 3.1Mbps (UL)<br>UMTS: WCDMA: Max 384Kbps (DL)/Max 384Kbps (UL)<br>GSM: GPRS: Max 107Kbps (DL)/Max 85.6Kbps (UL)        |
| 3 A, 125 V             | Class 4 for GSM850/900: 23±2dBm<br>Class 1 for GSM1800/1900: 20±2dBm<br>Class 3 for LTE-TDD: 23±2.7dBm<br>Class 3 for LTE-FDD: 23±2.7dBm  |
| Data support           | SMS (text/data)   |



**Power**

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Input voltage range      | 10 - 30 V DC with overvoltage protection  |
| Internal Back-up battery | 170 mAh Li-Ion battery 3.7 V (0.63 Wh)  |
| Internal fuse            | 3 A, 125 V  |
| Power consumption        | At 12V < 3 mA (Ultra Deep Sleep)<br>At 12V < 5 mA (Deep Sleep)<br>At 12V < 16 mA (Online Deep Sleep)<br>At 12V < 18 mA (GPS Sleep)<br>At 12V < 33 mA (nominal with no load)<br>At 12V < 2A Max. (with full Load / Peak) |

**Bluetooth**

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Specification         | 4.0 + LE  |
| Supported peripherals | Temperature and Humidity sensor, OBDII dongle, Inateck Barcode Scanner, Universal BLE sensors support |

**Physical specification**

|            |                                 |
|------------|---------------------------------|
| Dimensions | 65 x 56,6 x 20,6 mm (L x W x H) |
| Weight     | 55 g                            |

**Operating environment**

|   |   |
|---|---|
| Operating temperature (without battery) | -20 °C to +85°C   |
| Storage temperature (without battery)   | -20 °C to +85 °C  |
| Operating temperature (with battery)    | -20 °C to +40 °C  |
| Storage temperature (with battery)      | -20 °C to +45 °C  |
| Operating humidity                      | 5% to 95% non-condensing                                      |
| Ingress Protection Rating               | IP41  |
| Battery charge temperature              | 0 °C to +45 °C  |
| Battery discharge temperature           | -20 °C to +60 °C  |
| Battery storage temperature             | -20 °C to +45 °C for 1 month<br>-20 °C to +35 °C for 6 months |

**Interface**

|                    |                                      |
|--------------------|--------------------------------------|
| Digital Inputs     | 3                                    |
| Negative Inputs    | 1 (Digital Input 2)                  |
| Impulse Inputs     | 2 (Digital Input 1, Digital Input 2) |
| Digital Outputs    | 3                                    |
| Analog Inputs      | 2                                    |
| CAN Adapter Inputs | 1                                    |
| 1-Wire             | 1                                    |
| GNSS antenna       | Internal High Gain                   |
| Cellular antenna   | Internal High Gain                   |
| USB                | 2.0 Micro-USB                        |
| LED indication     | 2 status LED lights                  |
| SIM                | Micro-SIM + eSIM                     |
| Memory             | 128MB internal flash memory          |



### Anexo P. Código fuente del microcontrolador ESP32 programado en Arduino IDE

```

// ===== INCLUSIÓN DE LIBRERÍAS =====
#include <Wire.h> // Comunicación I2C
#include <Adafruit_Sensor.h> // Librería base para sensores Adafruit
#include <Adafruit_BMP280.h> // Sensor de presión y temperatura BMP280
#include <MPU9250_WE.h> // Sensor de movimiento (acelerómetro, giroscopio, magnetómetro)
#include <TinyGPS++.h> // Librería para obtener datos del GPS Neo-M8N
#include <SoftwareSerial.h> // Comunicación serial adicional para la pantalla Nextion
#include <ArduinoJson.h> // Librería para crear objetos JSON
#include "Adafruit_BNO08x_RVC.h" // Librería para sensor alternativo (no se usa en este proyecto)
#include <DHT.h> // Sensor de temperatura y humedad DHT11
#include <DHT_U.h> // Librería extendida del sensor DHT

// ===== DEFINICIÓN DE PINES Y OBJETOS =====
#define DHTPIN 6 // Pin digital conectado al DHT11
#define DHTTYPE DHT11 // Tipo de sensor DHT
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Creación del objeto DHT

TinyGPSPlus gps; // Objeto para el manejo del GPS

#define RXD 5 // Pin RX para el GPS
#define TXD 4 // Pin TX para el GPS
#define GPS_BAUD 9600 // Velocidad del GPS
#define UTC_OFFSET -5 // Zona horaria Ecuador (UTC -5)

#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25) // Presión atmosférica de referencia
Adafruit_BMP280 bmp; // Objeto para el BMP280

#define MPU9250_ADDR 0x68
MPU9250_WE myMPU9250 = MPU9250_WE(MPU9250_ADDR); // Objeto del sensor MPU9250

SoftwareSerial nextionSerial(9, 8); // Comunicación con la pantalla Nextion (TX, RX)

// Declaración de funciones auxiliares
void enviarTextoNextion(String id, String texto);
String leerDatosNextion();
bool isNumeric(String str);

// Variables de control de tiempo
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 2000; // Intervalo de muestreo (2 segundos)

// ===== CONFIGURACIÓN INICIAL =====
void setup() {
  Serial.begin(115200); // Comunicación con la Raspberry Pi
  Serial1.begin(GPS_BAUD, SERIAL_BN1, RXD, TXD); // Comunicación con el GPS
  nextionSerial.begin(9600); // Comunicación con la pantalla Nextion
  Wire.begin(); // Inicialización del bus I2C

  delay(200); // Pausa para estabilización de dispositivos

  // Inicialización del sensor BMP280
  if (bmp.begin(0x76)) {
    Serial.println("✅ Sensor BMP280 detectado en 0x76");
  } else {
    Serial.println("❌ No se encontró un sensor válido en 0x76.");
  }

  Serial.println(F("Iniciando sensores..."));

  dht.begin(); // Inicializar DHT11

  if (!myMPU9250.init()) {
    Serial.println("MPU9250 does not respond");
  } else {
    Serial.println("MPU9250 is connected");
  }
}

```



```

if (!myMPU9250.initMagnetometer()) {
  Serial.println("Magnetometer does not respond");
} else {
  Serial.println("Magnetometer is connected");
}

Serial.println("Position you MPU9250 flat and don't move it - calibrating...");
delay(1000);
myMPU9250.autoOffsets(); // Calibración automática
Serial.println("Done!");

// Configuraciones del sensor MPU9250
myMPU9250.enableGyrDLPF();
myMPU9250.setGyrDLPF(MPU9250_DLPF_6);
myMPU9250.setSampleRateDivider(5);
myMPU9250.setGyrRange(MPU9250_GYRO_RANGE_250);
myMPU9250.setAccRange(MPU9250_ACC_RANGE_2G);
myMPU9250.enableAccDLPF(true);
myMPU9250.setAccDLPF(MPU9250_DLPF_6);
myMPU9250.setMagOpMode(AK8963_CONT_MODE_100HZ);
delay(200);
}

// ===== BUCLE PRINCIPAL =====
void loop() {
  StaticJsonDocument<1024> jsonDoc; // Objeto JSON para datos
  unsigned long currentMillis = millis();

  while (Serial1.available() > 0) {
    gps.encode(Serial1.read()); // Leer datos del GPS
  }

  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;

    // Valores predeterminados GPS
    jsonDoc["gps"]["fecha"] = "9/5/2025";
    jsonDoc["gps"]["hora"] = "12:0:0";
    jsonDoc["gps"]["latitud"] = 0;
    jsonDoc["gps"]["longitud"] = 0;
    jsonDoc["gps"]["altitud"] = 0;
    jsonDoc["gps"]["velocidad_kmph"] = 0;
    jsonDoc["gps"]["satelites"] = 0;

    // Obtener fecha y hora del GPS
    if (gps.date.isValid() && gps.time.isValid()) {
      int horaLocal = gps.time.hour() + UTC_OFFSET;
      if (horaLocal < 0) horaLocal += 24;
      if (horaLocal >= 24) horaLocal -= 24;

      String fecha = String(gps.date.day()) + "/" + String(gps.date.month()) + "/" +
String(gps.date.year());
      String hora = String(horaLocal) + ":" + String(gps.time.minute()) + ":" +
String(gps.time.second());

      enviarTextoNextion("t0", fecha);
      enviarTextoNextion("t1", hora);
      jsonDoc["gps"]["fecha"] = fecha;
      jsonDoc["gps"]["hora"] = hora;
    }

    if (gps.location.isValid()) {
      enviarTextoNextion("t2", String(gps.location.lat(), 6));
      enviarTextoNextion("t3", String(gps.location.lng(), 6));
      enviarTextoNextion("t4", gps.altitude.isValid() ? String(gps.altitude.meters()) : "0");
      enviarTextoNextion("t5", gps.speed.isValid() ? String(gps.speed.kmph()) : "0");
      enviarTextoNextion("t6", gps.satellites.isValid() ? String(gps.satellites.value()) : "0");

      jsonDoc["gps"]["latitud"] = gps.location.lat();
      jsonDoc["gps"]["longitud"] = gps.location.lng();
      jsonDoc["gps"]["altitud"] = gps.altitude.isValid() ? gps.altitude.meters() : 0;
      jsonDoc["gps"]["velocidad_kmph"] = gps.speed.isValid() ? gps.speed.kmph() : 0;
      jsonDoc["gps"]["satelites"] = gps.satellites.isValid() ? gps.satellites.value() : 0;
    }
  }
}

```



```

// Datos climáticos
float temperatura = bmp.readTemperature();
float presion = bmp.readPressure() / 100.0F;
float altitud = bmp.readAltitude(1013.25);
float humedad = dht.readHumidity();

enviarTextoNextion("t7", String(temperatura));
enviarTextoNextion("t8", String(presion));
enviarTextoNextion("t9", String(altitud));
enviarTextoNextion("t10", String(humedad));

jsonDoc["clima"]["temperatura"] = temperatura;
jsonDoc["clima"]["presion"] = presion;
jsonDoc["clima"]["altitud"] = altitud;
jsonDoc["clima"]["humedad"] = humedad;

// Datos IMU MPU9250
xyzFloat gValue = myMPU9250.getGValues();
xyzFloat gyr = myMPU9250.getGyrValues();
xyzFloat angles = myMPU9250.getAngles();

float pitch = myMPU9250.getPitch();
float roll = myMPU9250.getRoll();
float resultantG = myMPU9250.getResultantG(gValue);

jsonDoc["mpu9250"]["acelerometro"]["x"] = gValue.x;
jsonDoc["mpu9250"]["acelerometro"]["y"] = gValue.y;
jsonDoc["mpu9250"]["acelerometro"]["z"] = gValue.z;
jsonDoc["mpu9250"]["acelerometro"]["res"] = resultantG;

enviarTextoNextion("t11", String(gValue.x));
enviarTextoNextion("t12", String(gValue.y));
enviarTextoNextion("t13", String(gValue.z));

jsonDoc["mpu9250"]["giroscopio"]["x"] = gyr.x;
jsonDoc["mpu9250"]["giroscopio"]["y"] = gyr.y;
jsonDoc["mpu9250"]["giroscopio"]["z"] = gyr.z;

enviarTextoNextion("t14", String(gyr.x));
enviarTextoNextion("t15", String(gyr.y));
enviarTextoNextion("t16", String(gyr.z));

jsonDoc["mpu9250"]["rotacion"]["yaw"] = angles.x;
jsonDoc["mpu9250"]["rotacion"]["pitch"] = pitch;
jsonDoc["mpu9250"]["rotacion"]["roll"] = roll;

enviarTextoNextion("t17", String(angles.x));
enviarTextoNextion("t18", String(pitch));
enviarTextoNextion("t19", String(roll));

// Valor ingresado por el conductor en la pantalla
String valorNextion = leerDatosNextion();
jsonDoc["nextion"]["valor"] = valorNextion.length() > 0 ? valorNextion : "0";

// Enviar JSON a la Raspberry Pi
String jsonString;
serializeJson(jsonDoc, jsonString);
Serial.println(jsonString);
}
}

// ===== FUNCIONES AUXILIARES =====
void enviarTextoNextion(String id, String texto) {
  String comando = id + ".txt=\"\" + texto + "\"";
  nextionSerial.print(comando);
  nextionSerial.write(0xFF);
  nextionSerial.write(0xFF);
  nextionSerial.write(0xFF);
}

String leerDatosNextion() {
  String receivedData = "";
  unsigned long startTime = millis();

```



```

while (millis() - startTime < 100) {
  if (nextionSerial.available()) {
    char incomingByte = nextionSerial.read();
    startTime = millis();

    if (incomingByte != 0xFF && isPrintable(incomingByte)) {
      receivedData += incomingByte;
    }
  }
}

if (receivedData.startsWith("p")) {
  receivedData = receivedData.substring(1);
}

if (receivedData.length() > 0) {
  if (isNumeric(receivedData)) {
    return receivedData;
  } else if (receivedData == "e") {
    return "0";
  } else {
    return "Error: " + receivedData;
  }
}

return "0";
}

bool isNumeric(String str) {
  if (str.length() == 0) return false;
  bool hasDecimal = false;

  for (unsigned int i = 0; i < str.length(); i++) {
    if (isDigit(str.charAt(i))) {
      continue;
    } else if (str.charAt(i) == '.' && !hasDecimal) {
      hasDecimal = true;
    } else {
      return false;
    }
  }
  return true;
}

```



### Anexo Q. Código programado en la Raspberry

```

import serial
import json
import os
import signal
import sys
import glob
import time

archivo_jsonl = "/mnt/datos/datos_sensores.jsonl"
baudrate = 115200
ser = None

def detectar_puerto_serial(timeout=600, intervalo=5):
    print(" Buscando puerto serie disponible...")
    tiempo_inicio = time.time()
    while time.time() - tiempo_inicio < timeout:
        posibles_puertos = glob.glob('/dev/ttyACM*') + glob.glob('/dev/ttyUSB*')
        if posibles_puertos:
            print(f" Puerto detectado: {posibles_puertos[0]}")
            return posibles_puertos[0]
        print(" Esperando puerto... Reintentando en 5 segundos.")
        time.sleep(intervalo)
    print(" Tiempo agotado. No se detectó ningún puerto serie.")
    return None

def conectar_serial():
    global ser
    while True:
        puerto = detectar_puerto_serial()
        if puerto:
            try:
                ser = serial.Serial(puerto, baudrate, timeout=1)
                print(" Conexión serial establecida.")
                return
            except serial.SerialException as e:
                print(f" Error al abrir el puerto {puerto}: {e}")
                print(" Reintentando conexión en 5 segundos...")
                time.sleep(5)

```



```

def manejar_apagado(signal_received, frame):
    print("■ Interrupción detectada. Cerrando puerto...")
    try:
        if ser and ser.is_open:
            ser.close()
    except:
        pass
    sys.exit(0)

signal.signal(signal.SIGINT, manejar_apagado)
signal.signal(signal.SIGTERM, manejar_apagado)

def recibir_datos():
    global ser
    while True:
        if ser is None or not ser.is_open:
            print(" (Re)intentando conexión serial...")
            conectar_serial()

        try:
            line = ser.readline().decode('utf-8', errors='ignore').strip()

            # Validación básica
            if not line or not line.startswith("{") or not line.endswith("}"):
                print(f"⚠ Línea ignorada: {line}")
                continue

            json.loads(line) # Solo validación
            with open(archivo_jsonl, "a") as f:
                f.write(line + "\n")

            print(f" JSON guardado: {line}")

        except (serial.SerialException, OSError) as e:
            print(f" Conexión serial perdida o error de lectura: {e}")
            try:
                ser.close()
            except:
                pass
            ser = None # Forzar reconexión

```

```

        time.sleep(2)

    except json.JSONDecodeError as e:
        print(f" Error JSON: {e}")
    except Exception as e:
        print(f" Error inesperado: {e}")
        time.sleep(2)

# Ejecutar
if __name__ == '__main__':
    conectar_serial()
    recibir_datos()

```



**Anexo R. Diseño y Estructura de la Encuesta en Línea**



Sección 1

**Información General**

En esta sección recopilaremos información básica sobre su situación como conductor de taxi, incluyendo si es propietario del vehículo o trabaja para otra persona.

1. **¿Es usted propietario del vehículo que conduce o trabaja para otra persona? \***

- Propietario
- Trabaja para otra persona

Sección 2

**Costos Operativos**

Aquí exploraremos los gastos asociados a la operación diaria de su taxi, incluyendo el consumo de combustible, el mantenimiento y otros gastos recurrentes.

2. **¿Cuánto gasta diariamente en combustible? \***

- Entre \$5 y \$10
- Entre \$10 y \$15
- Más de \$15 y \$20
- Entre \$20 y \$25
- Entre \$25 y \$30
- Mas de \$30



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



3. **¿Con qué frecuencia realiza el cambio de aceite de su vehículo? \***

- Cada 1 mes
- Cada 2 meses
- Cada 3 meses
- Solo cuando es necesario

4. **¿Cuánto gasta en promedio en el cambio de aceite de su vehículo? \***

- Menos de \$20
- Entre \$20 y \$40
- Entre \$40 y \$60
- Más de \$60

5. **¿Cuáles son los costos promedio de mantenimiento de su vehículo? \***

- Menos de \$50 al mes
- Entre \$50 y \$100 al mes
- Entre \$100 y \$200 al mes
- Más de \$200 al mes

6. **¿Cuánto gasta anualmente en reparaciones o piezas de repuesto para su vehículo? \***

- Menos de \$200
- Entre \$200 y \$400
- Entre \$400 y \$600
- Más de \$600



7. **¿Cuánto paga en promedio por el mantenimiento que realiza con mayor frecuencia? \***

- Menos de \$20
- Entre \$20 y \$50
- Entre \$50 y \$100
- Más de \$100

⋮

8. **¿Cuál de las siguientes opciones considera más costosa en el mantenimiento de su vehículo de combustión? \***

- Cambio de aceite
- Reparación del sistema de escape
- Cambio de bandas de distribución
- Cambio de bujías
- Cambio de inyectores
- Otras

9. **¿Cuánto paga en promedio por el mantenimiento de la opción más costosa? \***

- Menos de \$50
- Entre \$50 y \$100
- Entre \$100 y \$200
- Más de \$200

Sección 3

⋮

### Costos de Inversión

En esta sección analizaremos los gastos iniciales relacionados con la adquisición y preparación de su vehículo para el servicio de taxi.

10. **¿Cuánto fue el costo inicial de adquisición de su vehículo? \***

- Menos de \$5,000
- Entre \$5,000 y \$10,000
- Entre \$10,000 y \$20,000
- Más de \$20,000

11. **¿Qué gastos adicionales realizó para preparar el vehículo para su uso como taxi?**

- Instalación de taxímetro
- Adquisición de permisos
- Equipamiento adicional (seguridad, etc.)
- Todas las anteriores



## Sección 4

**Horas de Trabajo**

En esta sección se recopilará información sobre las horas promedio trabajadas por los conductores de taxi al día, así como la distribución de su tiempo entre las horas de día y noche.

**12. ¿Cuántas horas trabaja en promedio al día?**

- Menos de 6 horas
- Entre 6 y 8 horas
- Entre 8 y 10 horas
- Más de 10 horas

**13. ¿Cómo distribuye sus horas entre el día y la noche? \***

- Solo en el día
- Solo en la noche
- Mayormente en el día
- Mayormente en la noche

## Sección 5

**Ingresos**

En esta sección se indagará sobre el ingreso promedio generado por su taxi, así como los días más rentables en los que considera que su actividad es más lucrativa.

**14. ¿Cuál es el ingreso promedio generado por su taxi? \***

- Menos de \$30 al día
- Entre \$30 y \$50 al día
- Entre \$50 y \$70 al día
- Más de \$70 al día

**15. ¿Qué días considera los más rentables en términos de ingresos? \***

- Lunes a viernes
- Solo fines de semana (sábado y domingo)
- Todos los días por igual
- Otras



## Sección 6

...

**Gastos Indirectos**

En esta sección se explorarán los costos adicionales relacionados con la gestión del negocio, como los seguros, permisos, licencias, y otros gastos que no están directamente relacionados con la operación del vehículo, pero que son necesarios para mantener el servicio de taxi.

**16. ¿Cuáles son los costos relacionados con permisos o licencias requeridos para operar? \***

- Menos de \$50 al año
- Entre \$50 y \$100 al año
- Entre \$100 y \$200 al año
- Más de \$200 al año

**17. ¿En qué otros aspectos deben invertir, como seguros o contribuciones a la cooperativa? \***

- Seguro vehicular
- Contribuciones a la cooperativa
- Mantenimiento de vehículos
- Otras

## Sección 7

...

**Percepciones y Opiniones**

En esta sección se indagará sobre las opiniones y actitudes de los conductores respecto a la implementación de vehículos eléctricos en el servicio de taxis, incluyendo sus beneficios, desventajas y preocupaciones.

**18. ¿Qué opina sobre la posible implementación de vehículos eléctricos en el servicio de taxis? \***

- Muy favorable
- Algo favorable
- Neutral
- Algo desfavorable
- Muy desfavorable



19. **¿Qué beneficios o desventajas percibe al cambiar a un vehículo eléctrico? \***

**Beneficios:**

- Menores costos operativos
- Menor impacto ambiental
- Mayor eficiencia
- Otras

20. **¿Qué desventajas percibe al cambiar a un vehículo eléctrico? \***

**Desventajas:**

- Autonomía limitada
- Mayor costo inicial
- Puntos de carga insuficientes
- Otras

21. **¿Cree que los vehículos eléctricos son viables para las rutas que opera actualmente? \***

- Sí
- No
- No estoy seguro

22. **Ha considerado alguna vez cambiar su vehículo a uno eléctrico? \***

Selecciona la respuesta

23. **¿Porque ha considerado esta desicion?**

Escriba su respuesta

24. **¿Qué incentivos serían necesarios para que se decida por un vehículo eléctrico?**

- Subsidios o incentivos fiscales
- Reducción en el costo inicial de compra
- Puntos de carga más accesibles
- Garantía de menor costo de mantenimiento
- Otras



25. **¿Consideraría cambiar a un vehículo eléctrico si tuviera garantías sobre su rendimiento y costos operativos?**

- Sí, lo consideraría seriamente
- Sí, pero dependería del costo inicial
- No estoy seguro, necesitaría más información
- No, no lo consideraría

26. **¿Cree que el gobierno o las cooperativas deberían ofrecer incentivos para facilitar la transición a vehículos eléctricos? \***

- Sí, definitivamente
- Sí, pero solo si hay pruebas de su viabilidad
- No estoy seguro
- No, no lo creo necesario

**Anexo S. Manual de extracción de datos del sistema GPS autónomo**

**Introducción**

El presente manual describió el uso del sistema GPS autónomo para la extracción de información, considerando las versiones de software instaladas y la estructura real de archivos empleada durante el desarrollo del proyecto.

**Descripción general del sistema**

Todos los componentes se encontraron integrados dentro de un gabinete protegido, el cual fue instalado en el interior del vehículo, generalmente bajo el asiento del conductor o en un compartimento lateral del capó.

**Requisitos para la extracción de datos**

Para la correcta extracción del sistema se utilizaron los siguientes elementos:

- Computador con sistema operativo Windows
- Conexión a la red Wi-Fi generada o utilizada por el sistema
- Acceso a la Raspberry Pi mediante red local
- Software instalado:
  - PuTTY (cliente SSH / Serial)
  - FileZilla Client (transferencia SFTP)

**Software Instalado en el sistema operativo Windows**

- **Raspberry de Pi 4**





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



- **FileZilla**



- **PuTTY**



- **RealVNC Viewer**





**Pasos para la extracción**

- **Configuración de red Wi-Fi**

Para la extracción de datos, fue necesario crear en el computador una red Wi-Fi compartida, la cual permitió la comunicación con el sistema GPS autónomo.

La red fue configurada con los siguientes parámetros:

- Nombre de la red: wifi
- Contraseña: 12345678

Una vez habilitada la red Wi-Fi compartida y verificada la disponibilidad de una conexión a Internet estable, el sistema reconoció automáticamente el módulo GPS autónomo. Debido a la configuración previa de la Raspberry Pi, el dispositivo se conectó de manera automática a dicha red, sin requerir intervención adicional del usuario.

Cabe señalar que, una vez instalado y alimentado correctamente, el módulo GPS autónomo inició el almacenamiento de datos de forma continua desde el momento de su encendido, independientemente de la conexión a la red Wi-Fi.

Posteriormente, al activarse la red compartida con los parámetros establecidos, el módulo se conectó automáticamente y fue identificado en la lista de dispositivos conectados con el nombre "Raspberry", tal como se presenta en la siguiente imagen.



**Parámetros verificados:**

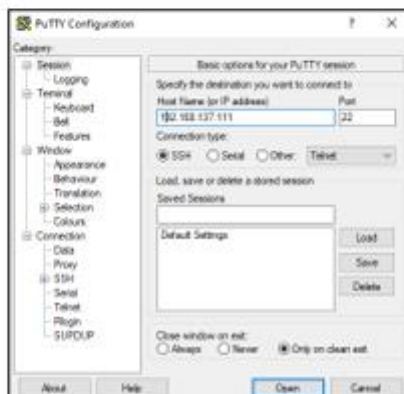
- Dirección IP asignada a la Raspberry Pi: 192.168.137.111

Estos parámetros fueron utilizados tanto para la conexión mediante terminal como para la transferencia de archivos.

- **Uso del software PuTTY**

PuTTY fue utilizado para acceder a la Raspberry Pi mediante conexión remota y verificar el funcionamiento del sistema.

Una vez establecida la conexión, se verificó que el sistema se encontrara operativo y que los datos estuvieran siendo exportados correctamente.

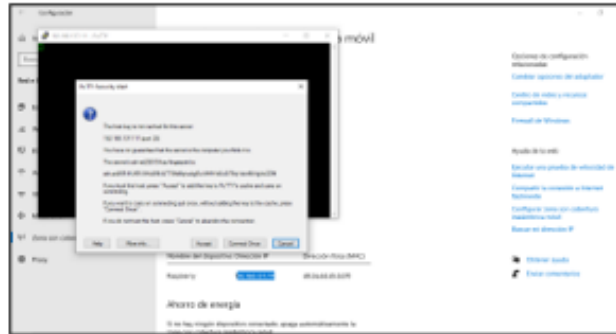




**Configuración de la conexión**

- Host Name (or IP address): 192.168.137.111
- Port: 22
- Connection type: SSH

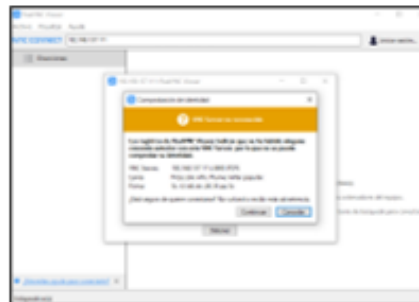
Una vez configurados los campos, se inició la conexión presionando el botón **Open**.



**Uso del software RealVNC Viewer**

El software RealVNC Viewer fue utilizado para acceder de forma remota a la Raspberry Pi del sistema GPS autónomo y verificar su correcto funcionamiento.

Una vez abierto el programa, se procedió a buscar el dispositivo correspondiente al módulo mediante su dirección IP 192.168.137.111. El sistema identificó automáticamente el dispositivo y estableció la conexión remota, permitiendo el acceso al entorno de la Raspberry Pi.



Al establecerse la conexión, se abrió la interfaz del sistema, desde la cual fue posible ingresar los comandos necesarios para verificar que los datos provenientes de los sensores estuvieran siendo recibidos y almacenados correctamente.



Previo a la visualización de la recepción de datos, el sistema solicitó la autenticación del usuario. Para ello, se ingresaron las siguientes credenciales y comandos en la terminal:

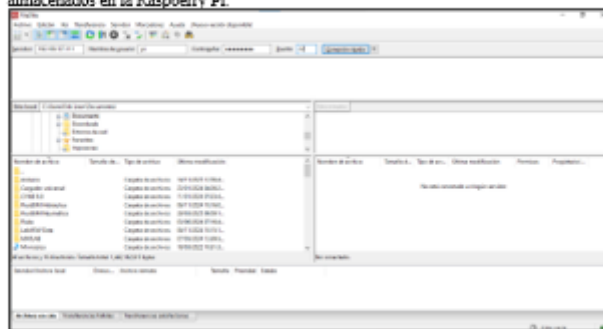
```
login as: pi
Password: raspberry
sudo systemctl status lector_serial.service
```



La ejecución de estos comandos permitió comprobar que el servicio encargado de la adquisición de datos se encontrara activo y funcionando correctamente.

**- Uso del software FileZilla**

FileZilla fue empleado para la extracción directa de los archivos de datos almacenados en la Raspberry Pi.



**Configuración de conexión SFTP**

En el gestor de sitios de FileZilla se ingresaron los siguientes datos:

- **Servidor:** dirección IP de la Raspberry Pi (192.168.137.111)
- **Nombre de usuario:** pi
- **Contraseña:** raspberry
- **Puerto:** 22

Una vez establecida la conexión, el panel derecho mostró el sistema de archivos de la Raspberry Pi.

**- Navegación por carpetas**

Los archivos generados por el sistema GPS autónomo se almacenaron en una ruta específica del sistema.

La estructura utilizada fue la siguiente:

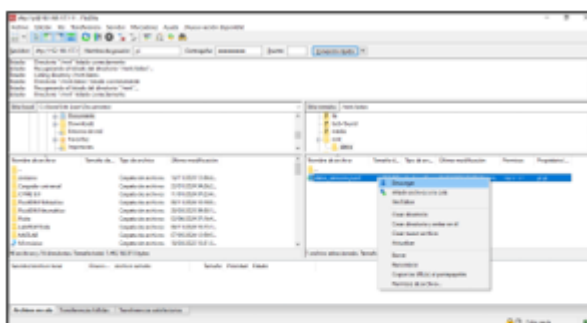
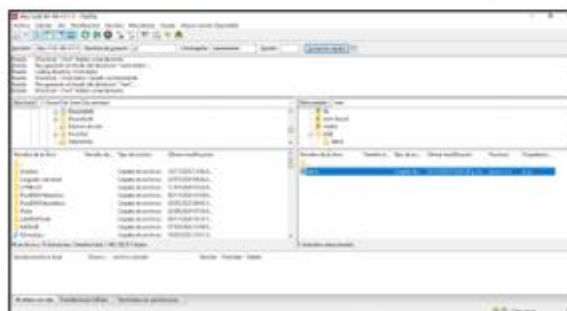
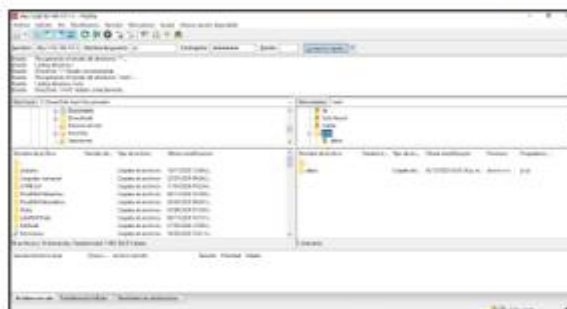
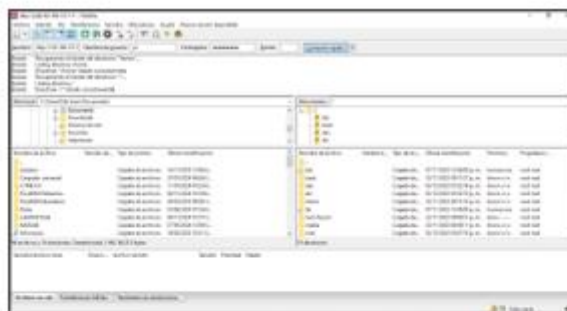
```
Sitio remoto/
/
├── mnt/
│   └── datos/
│       └── datos_sensores.json
```

Una vez localizado el archivo, se realizó clic derecho y se seleccionó la opción "Descargar".

- A continuación se muestra gráficamente los pasos



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Una vez identificada la ruta de almacenamiento de los datos en el sistema de archivos de la Raspberry Pi, se procedió a seleccionar el archivo correspondiente a los registros del sistema GPS autónomo. Posteriormente, mediante el software FileZilla, se realizó la descarga del archivo desde el directorio remoto hacia el computador local, tal como se mostraron en las capturas.



**Datos Descargados .jsonl**

Una vez completada la descarga, el archivo de datos fue almacenado en el computador local en formato .jsonl, el cual contiene los registros generados por el sistema GPS autónomo durante el periodo de adquisición.

Al abrir el archivo descargado, se pudo visualizar que la información se encontraba organizada en registros consecutivos, donde cada línea correspondió a un instante de muestreo del sistema.



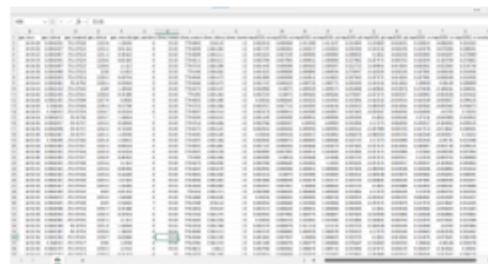
En cada fila del archivo se observaron datos estructurados en formato jsonl, donde cada línea representó un registro independiente correspondiente a los datos recolectados por el sistema GPS autónomo en un intervalo de muestreo de dos segundos, manteniendo el siguiente orden de variables: `gps_fecha / gps_hora / gps_latitud / gps_longitud / gps_altitud / gps_velocidad_kmph / gps_satelites / clima_temperatura / clima_presion / clima_altitud / clima_humedad / mpu9250_acelerometro_x / mpu9250_acelerometro_y / mpu9250_acelerometro_z / mpu9250_acelerometro_res / mpu9250_giroscopio_x / mpu9250_giroscopio_y / mpu9250_giroscopio_z / mpu9250_rotacion_yaw / mpu9250_rotacion_pitch / mpu9250_rotacion_roll / nextion_valor`.

**Conversión de datos de .jsonl a csv (Python)**

Una vez verificado el archivo descargado en formato .jsonl, se procedió a realizar la conversión de los registros a formato csv, mediante un script desarrollado en lenguaje Python. Este procedimiento permitió organizar la información en una estructura tabular para su análisis posterior.



Tras ejecutar el script, se generó un archivo en formato CSV, el cual fue abierto en Microsoft Excel para verificar la correcta conversión de los registros y la adecuada organización de las variables en columnas.



La conversión realizada permitió disponer de los datos en un formato compatible con las herramientas de análisis empleadas en el estudio.



## Anexo T. Manual de mantenimiento preventivo del sistema GPS autónomo

### Introducción

El presente documento describe las actividades de mantenimiento preventivo recomendadas para el sistema GPS autónomo instalado en los vehículos de prueba, con el objetivo de garantizar la continuidad operativa, la integridad de los datos recolectados y la prolongación de la vida útil de los componentes electrónicos. Debido a que el sistema fue diseñado para operación continua y con mínima intervención, las tareas de mantenimiento se enfocaron principalmente en la inspección visual, revisión de conexiones eléctricas y verificación del estado de la batería de respaldo.

### Descripción general del sistema de alimentación

El sistema GPS autónomo contó con un esquema de alimentación compuesto por una conexión a la batería del vehículo y una batería adicional de respaldo, ambas vinculadas mediante una fuente conmutada. Este diseño permitió asegurar el suministro eléctrico continuo del sistema durante la operación normal del vehículo y en condiciones de apagado del motor.

Dado que el sistema no incorporó indicadores visuales de carga de la batería de respaldo, el mantenimiento se orientó a la verificación física y funcional de los elementos de alimentación, sin intervenir en procesos internos de carga.

### Actividades de mantenimiento preventivo

#### ❖ Revisión del estado de la batería de respaldo

Se recomendó realizar una inspección periódica de la batería de respaldo, retirándola del sistema para verificar su estado físico general. Durante esta revisión se debía observar la ausencia de deformaciones, fisuras, fugas o signos de sobrecalentamiento. Asimismo, se sugirió comprobar que los terminales de la batería se encontraran firmes y libres de residuos.

#### ❖ Inspección de terminales eléctricos

Debido a las condiciones ambientales propias del compartimento del motor y a la exposición a variaciones de temperatura, se consideró necesario revisar periódicamente los terminales eléctricos del sistema. Esta inspección incluyó la verificación de posibles procesos de sulfatación, corrosión o aflojamiento de las conexiones, los cuales podrían afectar la estabilidad del suministro eléctrico.

#### ❖ Verificación del cableado de alimentación

El cableado que conecta el sistema GPS autónomo con la batería del vehículo y la fuente conmutada fue sometido a inspecciones visuales regulares. Se recomendó comprobar que los conductores no presentaran cortes, desgaste del aislamiento,



endurecimiento por temperatura o signos de deterioro mecánico, especialmente en las zonas cercanas al compartimento del motor.

❖ **Revisión de la fuente conmutada**

La fuente conmutada fue revisada externamente para verificar que se mantuviera firmemente instalada y sin signos visibles de sobrecalentamiento. Se recomendó asegurar que los puntos de entrada y salida de alimentación se encontraran correctamente ajustados y protegidos.

❖ **Revisión y ajuste de elementos de fijación**

Debido a que el sistema GPS autónomo fue instalado en un entorno vehicular sometido a vibraciones constantes durante la operación diaria, se recomendó realizar una revisión periódica de los elementos de fijación mecánica del sistema. Esta actividad incluyó la verificación del ajuste de tornillos, soportes y puntos de anclaje del gabinete que contenía los componentes electrónicos.

La inspección permitió identificar posibles alojamientos generados por las vibraciones propias del vehículo, las irregularidades del terreno y las condiciones de circulación urbana. En caso de detectarse tornillos sueltos, se recomendó realizar el reajuste correspondiente para evitar desplazamientos del sistema, daños en el cableado o afectaciones al correcto funcionamiento de los componentes internos.

❖ **Revisión y reemplazo del fusible de protección**

El sistema GPS autónomo incorporó un porta fusibles en la línea de alimentación eléctrica, cuya función fue proteger los componentes electrónicos ante posibles sobre corrientes y fallas eléctricas. Como parte del mantenimiento preventivo, se recomendó verificar periódicamente el estado del fusible instalado.

En caso de detectarse la interrupción del suministro eléctrico o la no puesta en funcionamiento del sistema, se sugirió inspeccionar el fusible alojado en el porta fusibles. Para esta verificación, fue necesario retirar el fusible y comprobar visualmente la continuidad del elemento conductor interno.

De requerirse su reemplazo, se estableció que el fusible debía ser sustituido únicamente por otro de las mismas características nominales, correspondiente a un fusible de 220 V y 1 A, a fin de garantizar la protección adecuada del sistema y evitar daños por el uso de valores incorrectos.

Asimismo, se recomendó asegurar que el porta fusibles se encontrara correctamente cerrado y firmemente instalado tras el reemplazo, verificando que

no existieran falsos contactos que pudieran afectar la continuidad del suministro eléctrico.

❖ **Inspección general del sistema**

Finalmente, se sugirió realizar una inspección general del sistema GPS autónomo, verificando que el gabinete protector se encontrara correctamente cerrado, sin ingreso de polvo, humedad o elementos externos. Esta revisión permitió asegurar que los componentes electrónicos se mantuvieran en condiciones adecuadas de operación durante el periodo de adquisición de datos.

❖ **Frecuencia recomendada de mantenimiento**

Las actividades descritas se recomendaron realizar de manera preventiva cada cierto número de semanas o previo al inicio de una nueva jornada prolongada de recolección de datos, especialmente cuando el sistema fuera instalado en condiciones ambientales exigentes o sometido a elevadas temperaturas.



# Documento Analisis LEON\_ERIK\_12022026

**2%** Textos sospechosos

**2% Similitudes**  
 0 % similitudes entre comillas  
 0 % entre las fuentes mencionadas

**0% Idiomas no reconocidos**

**13% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)**

|   |  |   |
|---|--|---|
| Nombre del documento: Documento Analisis<br>LEON_ERIK_12022026.docx<br>ID del documento: 62e9e48156d674cd17db6855abf4fc911aea0e5e<br>Tamaño del documento original: 6.32 MB | Depositante: Francisco Naranjo Cobo<br>Fecha de depósito: 12/2/2026<br>Tipo de carga: interface<br>fecha de fin de análisis: 12/2/2026 | Número de palabras: 34.538<br>Número de caracteres: 226.935 |
|---|--|---|



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

| N° | Descripciones  | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales                       |
|----|--|-------------|-------------|---|
| 1  | <b>Documento de otro usuario</b> #017d1e<br>Viene de otro grupo<br>10 fuentes similares                                    | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (250 palabras) |
| 2  | <b>Documento de otro usuario</b> #c377a0<br>Viene de otro grupo<br>1 fuente similar  | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (163 palabras) |
| 3  | <b>www.geoenergia.gob.ec</b><br>https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/08/Estudio-de-analisis-... | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (120 palabras) |
| 4  | <b>TESIS FINAL.docx   TESIS FINAL</b> #8ae79b<br>Viene de mi grupo<br>1 fuente similar                                     | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (80 palabras)  |
| 5  | <b>Documento de otro usuario</b> #df3a59<br>Viene de otro grupo  | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (63 palabras)  |

### Fuentes con similitudes fortuitas

| N° | Descripciones   | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales                      |
|----|---|-------------|-------------|--|
| 1  | <b>Documento de otro usuario</b> #40930a<br>Viene de otro grupo | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (26 palabras) |
| 2  | <b>Documento de otro usuario</b> #9c7ecf<br>Viene de otro grupo | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (23 palabras) |
| 3  | <b>Documento de otro usuario</b> #98b335<br>Viene de otro grupo | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (16 palabras) |
| 4  | <b>Documento de otro usuario</b> #b11523<br>Viene de otro grupo | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (16 palabras) |
| 5  | <b>Documento de otro usuario</b> #57bbed<br>Viene de otro grupo | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (11 palabras) |