



## ING. AUTOMOTRIZ

### Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

#### AUTORES:

Martín Rafael Brito Herrera  
Klever Andrés Tufiño Chicaiza

#### TUTOR:

Msc. Christopher I. Fuertes

Analizar y Evaluar la seguridad de los sistemas  
ADAS en vehículos eléctricos disponibles en el  
mercado ecuatoriano

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

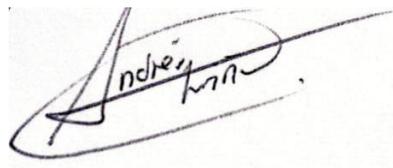
Nosotros, BRITO HERRERA MARTÍN RAFAEL, TUFÍÑO CHICAIZA KLEVER ANDRÉS, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



---

Brito Herrera Martín Rafael



---

Tufiño Chicaiza Klever Andrés

## APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, FUERTES ITURRALDE CRISTOPHER ISRAEL, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



---

Msc. Cristopher Fuertes

## DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres, hermanos, sobrino y a mi novia que han sido los pilares fundamentales en este camino. Este logro no solo es mío, sino de todos ellos, que me apoyaron cuando sentía que ya no daba más y veía el final del camino eterno. Sin ustedes esto no hubiera sido posible. Este título representa mucho esfuerzo, dedicación, compromiso y sobre todo no darme por vencido antes las adversidades en estos 4 años de arduo estudio y trabajo.

Martin Brito

## DEDICATORIA

A mi familia, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido el pilar fundamental que me ha permitido alcanzar este logro académico. A mis padres, por sus sacrificios y enseñanzas que han forjado mi carácter y determinación. A mis hermanas, por ser fuente de alegría y motivación en cada etapa de mi vida.

A mi novia, por su paciencia infinita, comprensión y compañía durante los momentos más desafiantes de este proceso. Su apoyo emocional ha sido fundamental para superar los obstáculos y mantener el enfoque en este objetivo.

De manera muy especial, dedico este trabajo a la memoria de mi querido abuelo materno, quien fue parte fundamental del inicio de este camino. Aunque ya no está físicamente presente, sus valores, consejos y ejemplo siguen guiando mis pasos. Sé que desde el cielo continúa velando por mí y que este logro también le pertenece.

Klever Tufiño

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por no soltar mi mano en este camino y darme todas las herramientas con las cuales pude hacer todo esto posible. Agradezco profundamente a mi tutor Msc. Christopher Fuertes, por ser un guía clave en todo este proceso y brindarme sus conocimientos con los que pude culminar este trabajo. De igual manera a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Automotriz, quienes con su vasta experiencia y profesionalismo me pudieron guiar en este caminar.

Martin Brito

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, doy gracias a Dios por su guía y fortaleza durante este proceso académico. Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Internacional del Ecuador por brindarme las herramientas y conocimientos que me han formado como profesional.

Reconozco especialmente al MSc. Christopher Fuertes por su invaluable tutoría, dirección experta y constante motivación durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a mi familia y pareja por su apoyo incondicional y comprensión durante todo este recorrido.

Klever Tufiño

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA .....	II
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO .....	VI
Resumen .....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Marco Teórico .....	5
Metodología.....	16
Resultados y Discusión.....	24
Conclusiones.....	33
Referencias .....	35
Anexos .....	41

## **Analizar y Evaluar la seguridad de los sistemas ADAS en vehículos disponibles en el mercado ecuatoriano**

*Ing. Christopher Fuertes. MSc<sup>[1]</sup>, Martín Brito.<sup>3</sup>, Klever Tufiño.<sup>4</sup>*

*[1] Maestría Especialidad - Universidad, Título Obtenido, [crifuertesit@uide.edu.ec](mailto:crifuertesit@uide.edu.ec),  
Quito – Ecuador*

*<sup>3</sup> Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador,  
[mabritohe@uide.edu.ec](mailto:mabritohe@uide.edu.ec), Quito - Ecuador*

*<sup>4</sup> Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador,  
[klufinoch@uide.edu.ec](mailto:klufinoch@uide.edu.ec) Quito – Ecuador*

### **Resumen**

La industria automotriz ha avanzado significativamente con el desarrollo de tecnologías como los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS), los cuales contribuyen a mejorar la seguridad vial. En Ecuador, aunque crece el uso de vehículos eléctricos, no existe una normativa específica que regule estos sistemas, esta falta de control podría afectar la seguridad del manejo autónomo. El objetivo de la presente investigación es analizar el estado de los sistemas ADAS entre dos de los vehículos eléctricos más vendidos en Ecuador, comparándolo con el protocolo Euro NCAP Assisted Driving Test and Assessment Protocol v2.2, y estándares internacionales como la norma General Safety Regulation (EU) 2019/2144 y la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA), abriendo paso para una posible normativa técnica actualizada para garantizar mayor seguridad. Se utilizó una metodología cualitativa y bibliográfica con pruebas de verificación en los vehículos. El presente estudio analiza cómo interactúan los sistemas ADAS con el entorno vial de la ciudad de Quito. Se revisó la normativa vigente y se realizó pruebas funcionales en dos modelos eléctricos representativos del mercado nacional, enfocándose en sistemas como el control de crucero adaptativo y el asistente de mantenimiento de carril. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Desempeño del ACC del 95% para el Vehículo 1 y del 92% para el Vehículo 2, reflejando un nivel muy alto de funcionamiento acorde a las normas internacionales, mientras que el Asistente de Mantenimiento de Carril en el vehículo 1 presentó un desempeño general aceptable con un índice de 85%. Sin embargo, el Vehículo 2 presentó un desempeño reducido al 60%. Nuestra investigación destaca la falta de una normativa ecuatoriana actualizada que regule

estos sistemas, sumada a deficiencias en infraestructura y capacitación.

*Palabras clave: ADAS, seguridad vehicular, vehículos eléctricos, normativa automotriz, sistemas de asistencia al conductor.*

### **Abstract**

The automotive industry has significantly advanced with the development of technologies such as Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), which contribute to improving road safety. In Ecuador, although the use of electric vehicles is increasing, there is no specific regulation governing these systems. This lack of oversight could impact the safety of autonomous driving. The objective of this research is to analyze the current state of ADAS in two of the best-selling electric vehicles in Ecuador, comparing their performance with the Euro NCAP Assisted Driving Test and Assessment Protocol v2.2, and international standards such as the General Safety Regulation (EU) 2019/2144 and the U.S. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), paving the way for a potential updated technical regulation to ensure greater safety. A qualitative, bibliographic with verification tests on vehicles This study examines how ADAS interact with the road environment in the city of Quito. Current regulations were reviewed, and functional tests were conducted on two representative electric vehicle models from the national market, focusing on systems such as Adaptive Cruise Control and Lane Keeping Assist. The results were as follows: ACC performance reached 95% for Vehicle 1 and 92% for Vehicle 2, reflecting a high level of functionality aligned with international standards. Meanwhile, the Lane Keeping Assist system in Vehicle 1 showed an acceptable overall performance with a score of 85%, while Vehicle 2 showed a reduced performance of 60%. Our research highlights the lack of updated Ecuadorian regulations governing these systems, in addition to deficiencies in infrastructure and training.

*Keywords: ADAS, vehicle safety, electric vehicles, automotive regulation, driver assistance systems.*

## Introducción

La industria nacional automotriz ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas, impulsada por la integración de tecnologías avanzadas diseñadas para mejorar la seguridad vial, optimizar la experiencia de conducción y en última instancia, reducir la siniestralidad en las carreteras (International Road Federation, 2023). Estudios recientes han demostrado que la implementación de estas tecnologías ha llevado a una reducción considerable de accidentes, con vehículos equipados con asistencia activa a la conducción involucrados en un 23.8% menos de colisiones (Intelligent Living, 2024), y sistemas como el frenado automático de emergencia logrando una reducción del 50% en colisiones por alcance (Intelligent Living, 2024). En este contexto, los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS) se han consolidado como una herramienta fundamental para alcanzar estos objetivos. Estos sistemas engloban una gama de funciones, como el frenado autónomo de emergencia, la asistencia de mantenimiento de carril, el control de cruce adaptativo y el monitoreo de punto ciego, que operan a través de una compleja interacción de sensores, radares, cámaras y unidades de procesamiento inteligente (Barnica, 2024; Nandavar et al., 2023; Orlovska et al., 2020). Con la creciente expansión de los vehículos eléctricos (VE) en el mercado ecuatoriano, un número considerable de estos modelos ya incorpora tecnologías ADAS como equipamiento estándar. De hecho, datos recientes indican que el 70% de los VE incluyen ahora ADAS de Nivel 2 (AInvest, 2024). La electrificación del transporte no solo responde a una necesidad ambiental urgente, sino que también marca una dirección hacia vehículos más seguros e inteligentes, integrando avanzada tecnología digital y conectividad que soporta módulos ADAS (PR Newswire, 2024; ResearchGate, 2024). No obstante, la eficacia y la pertinencia de estos sistemas dependen en gran medida de una regulación, homologación y supervisión técnica adecuadas, especialmente cuando se comercializan en mercados con condiciones viales y marcos normativos distintos a los de su diseño original (Dewesoft, 2024; Leiman, 2021; Verified Market Research, 2024).

En Ecuador, el mercado de vehículos eléctricos ha evidenciado un crecimiento de 14.7% siendo este impulsado particularmente por la introducción de varias marcas como BYD, Leapmotor, entre otros (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2022;

Mobility Portal, 2024). A pesar de esta expansión, el país carece de una normativa técnica específica que regule de manera exhaustiva la integración y el desempeño de los sistemas ADAS en estos vehículos. Actualmente, la homologación de automóviles en Ecuador se rige principalmente por el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034: “Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores” (Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034, 2016). Sin embargo, la cobertura de esta normativa es limitada en relación con las tecnologías avanzadas de asistencia. Si bien establece requisitos mínimos de seguridad, no incluye parámetros específicos sobre el funcionamiento, pruebas o niveles de desempeño de los sistemas ADAS, lo que representa una brecha crítica en términos de seguridad vehicular y protección al consumidor. En contraste, países como los miembros de la Unión Europea y Estados Unidos han implementado normativas rigurosas y detalladas que exigen a los fabricantes cumplir con altos estándares de seguridad activa. Regulaciones como las definidas por la UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) y la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) no solo garantizan el correcto funcionamiento de los sistemas ADAS, sino que también prohíben la venta de vehículos que no cumplan con criterios mínimos de desempeño, protección al usuario y validación en condiciones reales, con estándares de prueba que pueden variar en exigencia (AB Dynamics, 2024; Avellone et al., 2022; Nadezhda, 2024; Pecht et al., 2005).

La presente investigación tiene como objetivo principal analizar y evaluar el estado actual de los sistemas ADAS en vehículos eléctricos comercializados en Ecuador. A través de una comparación con las normativas internacionales vigentes en la Unión Europea y Estados Unidos, se identificarán las diferencias regulatorias existentes. Asimismo, se proporcionará las bases de lo que se debe cumplir para la creación de una posible normativa. Complementariamente, se llevarán a cabo pruebas funcionales en modelos eléctricos de dos marcas representativas en el país otros (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2024), con el propósito de determinar si estos vehículos cumplen con los estándares internacionales y qué implicaciones tiene su desempeño real en el contexto ecuatoriano.

A nivel internacional, se reconoce que los tres sistemas más críticos para la seguridad activa son el Control de Crucero Adaptativo (ACC), el Asistente de

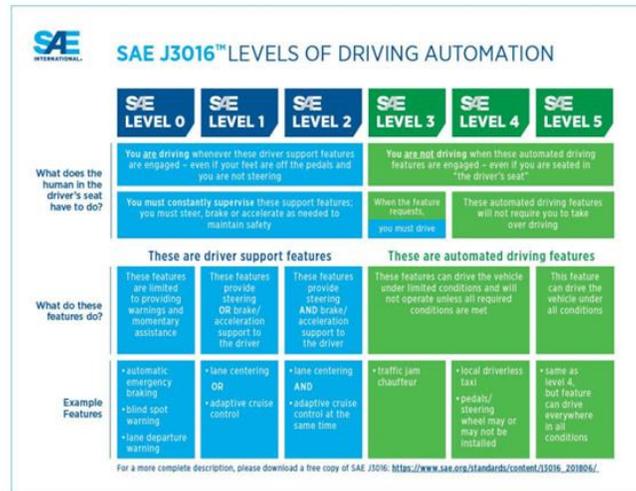
Mantenimiento/Cambio de Carril (LKA/ELK) y el Frenado Autónomo de Emergencia (AEB) (Jeffs, 2022b). No obstante, debido a limitaciones metodológicas y éticas, esta investigación se centró únicamente en los dos primeros. El testeo del sistema AEB requiere condiciones controladas de colisión que no fueron posibles en el contexto de esta tesis.

En este marco, se plantean como objetivos específicos: evaluar el desempeño técnico de los sistemas ADAS, particularmente el ACC y el LKA; identificar vulnerabilidades operativas derivadas de la geografía y la normativa local; y analizar las brechas de seguridad existentes entre el diseño de estos sistemas y las condiciones reales de las vías ecuatorianas.

## **Marco Teórico**

### **Sistemas ADAS**

Los sistemas de asistencia avanzada al conductor ADAS, por sus siglas en inglés, son un conjunto de tecnologías que asisten a los conductores mientras circulan por la carretera (Orlovska et al., 2020; Ziebinski et al., 2017). Su objetivo es aumentar la seguridad, reducir el estrés y prevenir los errores humanos. Es importante señalar que estos sistemas no sustituyen la responsabilidad que posee el conductor, sino que la complementan mediante funciones automatizadas y mejoran la seguridad (Perumal et al., 2021). La Normativa SAE J3016 clasifica estas tecnologías en cinco niveles, empezando por el nivel 0, sin ningún tipo de automatización, hasta el nivel 5, con automatización total (Figura 1).

**Figura 1***Niveles de Automatización en la conducción*

*Nota.* Tomado de *SAE International, 2019*

Con el propósito de ofrecer una visión general de las tecnologías presentadas en este artículo se muestra la siguiente tabla.

**Tabla 1***Función y Descripción de los ADAS*

N.º	Función	Descripción
1	Frenado de emergencia automático (AEB)	Aplica los frenos automáticamente para evitar colisiones con vehículos o peatones.
2	Control de crucero adaptativo (ACC)	Mantiene una distancia segura con el vehículo de adelante, ajustando la velocidad según sea necesario.
3	Asistente de mantenimiento de carril (LKA)	Corrige suavemente la dirección para mantener el vehículo dentro del carril.

*Nota.* La tabla presenta un resumen de los sistemas ADAS más representativos con la descripción de sus siglas y una breve definición de su funcionalidad. Tomado de (*Eckoldt et al., 2012; Ecomotor.es, 2018; Murtaza et al., 2023; Navet & Simonot-Lion, 2017; Pérez*

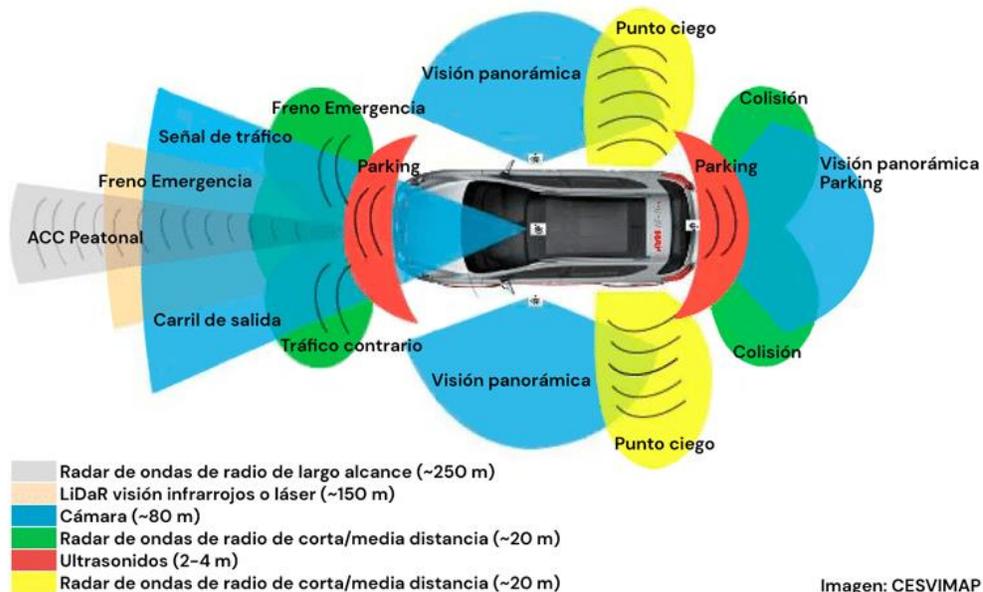
Rastelli et al., 2012).

## Funcionamiento de los ADAS

Los sistemas ADAS funcionan bajo un ciclo continuo que comprende tres fases: Percepción, Procesamiento y Acción. En la primera fase los sensores recopilan la información del entorno donde se incluye la distancia de otros vehículos, la presencia de los peatones, líneas de carril y las condiciones de la vía. En la segunda fase las unidades de control (ECU) interpretan los datos utilizando algoritmos que evalúan los riesgos y determinan las acciones correctivas del vehículo. En la tercera y última fase los actuadores del vehículo ejecutan respuestas como el frenado automático, la corrección de la trayectoria o la reducción de la velocidad según sea necesario. (Navet & Simonot-Lion, 2017).

### Figura 2

*Representación Funcionamiento de los ADAS*



*Nota. Tomado de Hella Gutmann Solutions (n.d.).*

<https://www.fundacionmapfre.org/educacion-divulgacion/seguridad-vial/sistemas-adas/que-son-los-sistemas-adas/>

## **Impacto de los ADAS en la seguridad vial**

El Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras en Estados Unidos (IIHS) señala que los coches con tecnología AEB tienen hasta un 50% menos de colisiones frontales en comparación con los que no la tienen (Arlington, 2020). Del mismo modo, se ha demostrado que ciertos dispositivos como el LKA y el ACC pueden reducir los accidentes por cambios involuntarios de carril y golpes traseros, respectivamente (Li et al., 2017; Nandavar et al., 2023; Utriainen et al., 2020).

En Ecuador, los accidentes de tránsito constituyen una causa significativa de mortalidad. En el 2023, el Instituto Nacional de Estadística y Censos, reportó un total de 3965 muertes por accidentes de transporte terrestre (INEC, 2023). En este contexto, la introducción de sistemas ADAS en la vialidad de nuestro país, podría contribuir a reducir drásticamente la siniestralidad en vías y carreteras.

## **Normativas vigentes para los sistemas ADAS**

Aunque en Ecuador no existe una legislación específica enfocada exclusivamente en los sistemas avanzados de asistencia al conductor, el país ha adoptado normas generales sobre seguridad vehicular en concordancia con las regulaciones de organismos internacionales. Actualmente, el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034:2019 establece requisitos mínimos de seguridad para vehículos livianos importados, pero no contempla de manera detallada la incorporación obligatoria de sistemas ADAS (Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034, 2016).

A nivel internacional, la Unión Europea ha establecido que todos los nuevos vehículos deben incorporar sistemas como el frenado automático de emergencia, la advertencia de cambio involuntario de carril y la detección de somnolencia del conductor (Benmimoun et al., 2012). Esta legislación forma parte de la iniciativa General Safety Regulation (EU) 2019/2144, cuyo objetivo es reducir la cantidad de muertes y lesiones graves en las carreteras europeas (European Parliament and Council, 2019). Esta normativa exige la obligatoriedad de diversos sistemas ADAS, incluyendo el Frenado Autónomo de Emergencia (AEB), la Asistencia Inteligente de Velocidad (ISA), la Advertencia de Salida

de Carril (LDW) y la Detección de Somnolencia y Atención del Conductor (DDAW), para vehículos nuevos desde 2022 y para todos los vehículos nuevos vendidos a partir de 2024 (EUR-Lex, 2019).

Por su parte, en Estados Unidos, la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA) ha emitido recomendaciones y estándares para la inclusión progresiva de tecnologías ADAS, principalmente en vehículos nuevos (Gómez-Huélamó et al., 2022; Ranney et al., 2000). Si bien no existe una ley federal que exija la obligatoriedad generalizada de todos los sistemas ADAS como en la UE, la NHTSA promueve activamente la adopción de tecnologías como el Frenado Automático de Emergencia (AEB) y la Advertencia de Colisión Frontal (FCW). Un acuerdo voluntario entre la NHTSA, el Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras (IIHS) y la mayoría de los fabricantes de automóviles, ha llevado a la estandarización del AEB y FCW como equipo estándar en casi todos los vehículos ligeros nuevos a partir del 1 de septiembre de 2022 (NHTSA, 2020).

Ecuador, siendo país miembro de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y signatario de acuerdos multilaterales de seguridad vial, cuenta con la posibilidad de adoptar en el futuro estas normativas para estandarizar el uso de ADAS, especialmente en vehículos eléctricos importados.

Adicionalmente, existen estándares técnicos y normativos internacionales que establecen los límites y condiciones de prueba para la validación y homologación de sistemas ADAS. Entre los más relevantes se encuentran los siguientes.

**ISO 22179.** Define criterios de confort y seguridad para la aceleración y desaceleración longitudinal en sistemas como el Control de Crucero Adaptativo (ACC), con un límite de  $\pm 0.3g$  para garantizar el confort del ocupante, y un tiempo mínimo de respuesta de frenado de 1.5 segundos en condiciones de velocidad constante entre 30 y 130 km/h.

**UNECE R157.** Regula aspectos relacionados con la aceleración lateral en maniobras de mantenimiento de carril  $\leq 0.2 \text{ m/s}^2$  en rectas y  $\leq 2.5 \text{ m/s}^2$  en curvas con radios mayores a 250 metros, y establece un ángulo máximo de corrección de dirección de  $5^\circ$ , crucial para sistemas como el LKA y el LCC.

**ISO 11270.** Establece parámetros para asistencia de carril, incluyendo aceleración lateral máxima permitida de  $0.3 \text{ m/s}^2$  para correcciones suaves, y velocidad angular (YAW) máxima de  $0.15 \text{ rad/s}$ , asegurando la estabilidad direccional durante las intervenciones del sistema.

**SAE J3016.** Clasifica los niveles de automatización vehicular, desde el Nivel 0 (sin automatización) hasta el Nivel 5 (automatización completa). Los niveles 1 y 2 requieren supervisión humana constante, y engloban la mayoría de los sistemas ADAS actualmente disponibles en el mercado, como el ACC, el LKA y el AEB.

**Tabla 2**

*Rangos y Parámetros según Normativas*

Parámetro	Normativa	Rango/Límite
<b>Acel. Longitudinal (AX)</b>	ISO 22179	$\pm 0.3g$
<b>Acel. Lateral (AY)</b>	UNECE R157	$\leq 0.2 \text{ m/s}^2$
<b>Velocidad Angular (YAW)</b>	ISO 11270	$\leq 0.15 \text{ rad/s}$
<b>Ángulo de Dirección</b>	UNECE R157	$\leq 5^\circ$
<b>Distancia de Frenado ACC</b>	ISO 22179	$\geq 1.5s$
<b>Precisión LKA</b>	Euro NCAP	$\leq 30 \text{ cm}$
<b>Tiempo Respuesta LKA</b>	Euro NCAP	$< 1.5s$

*Nota.* La tabla presenta los valores de referencia con los que actúan los sensores

## **Sistemas ADAS y Evaluación Según Protocolo Internacional Euro NCAP**

En los últimos años, los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) han evolucionado significativamente, pasando de funciones básicas de advertencia a capacidades semiautónomas que contribuyen a la seguridad activa del vehículo. En este contexto, organismos internacionales como Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) han desarrollado protocolos específicos de evaluación que permiten medir con precisión la efectividad real de estos sistemas en condiciones controladas y reproducibles. El más reciente, Euro NCAP Assisted Driving Test and Assessment Protocol v2.2, vigente desde 2024, establece directrices rigurosas para evaluar el rendimiento de los sistemas de conducción asistida tanto en autopistas como en vías interurbanas (Euro NCAP, 2024).

Este protocolo se basa en tres pilares fundamentales: Competencia de Asistencia, que evalúa la cooperación entre la asistencia del vehículo y la implicación del conductor; Respaldo de Seguridad, que analiza el comportamiento del sistema ante fallas o conductores no receptivos y Colaboración en la Conducción, que mide la capacidad del sistema para cooperar con maniobras inesperadas del conductor. En el ámbito técnico, Euro NCAP especifica parámetros concretos que deben cumplir los sistemas como el Control de Crucero Adaptativo (ACC) y el Asistente de Mantenimiento de Carril (LKA).

Para el ACC, se evalúa el desempeño en escenarios de tráfico reales como colisión trasera con vehículo detenido (CCRs), en movimiento (CCRm) o en desaceleración (CCRb), y se exige que el sistema mantenga una distancia segura, una aceleración longitudinal dentro de  $\pm 0.25g$  y un tiempo de respuesta de frenado superior a 1.5 s. En cuanto al LKA, se analiza la precisión del centrado dentro del carril, con un margen máximo de desviación de 30 cm y una respuesta del sistema inferior a 1.5 segundos. Asimismo, se examina la capacidad del sistema para aplicar un par de dirección suave y continuo ante maniobras como curvas en S o salidas involuntarias del carril, donde se establece un torque máximo permisible y una aceleración lateral  $\leq 0.2 \text{ m/s}^2$ .

Cabe destacar que Euro NCAP no se limita a evaluar la parte técnica del sistema, sino que también considera la forma en que la información se comunica al conductor (iconografía, alertas visuales, hápticas y auditivas), la disponibilidad de manuales y guías

rápidas, y la existencia de monitoreo del estado del conductor (DSM). Todo ello se integra en un sistema de puntuación que categoriza a los vehículos en niveles como "Very Good" ( $\geq 80\%$ ), "Good" ( $\geq 70\%$ ), "Moderate" ( $\geq 60\%$ ) o "Entry" ( $\geq 50\%$ ), permitiendo así comparar objetivamente diferentes modelos en función de su grado de asistencia y seguridad activa.

La incorporación de este protocolo en estudios técnicos y académicos, como el presente, permite no solo validar el desempeño de los ADAS en contextos reales de países en desarrollo como Ecuador, sino también visibilizar las brechas tecnológicas y normativas existentes respecto a los estándares europeos. Esto constituye una base sólida para futuras reformas en la homologación de vehículos y la regulación del equipamiento de seguridad activa en el país.

### **Desafíos en Ecuador**

Ecuador presenta varios factores geográficos y sociales que dificultan la funcionalidad de los sistemas ADAS. En primer lugar, la topografía montañosa de la Sierra ecuatoriana, combinada con cambios frecuentes de altitud, limita la precisión de sensores de radar y sistemas de asistencia de frenado. Además, condiciones climáticas como neblina densa y lluvias intensas afectan la visibilidad de las cámaras ópticas y la estabilidad de los sensores LiDAR.

Estudios recientes confirman la eficacia de los ADAS en la prevención de colisiones. Por ejemplo, una investigación demostró que sistemas como el Control de Crucero Adaptativo (ACC) y el Frenado Autónomo de Emergencia (AEB) pueden reducir la tasa de colisiones de manera sustancial, alcanzando en algunas situaciones de frenado de emergencia una disminución de hasta el 50% (Li et al., 2019). Además, un estudio realizado por el Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras (IIHS) en Estados Unidos (2021) encontró que la combinación de sistemas de frenado automático de emergencia y advertencia de colisión frontal reduce los choques traseros reportados por la policía en un 50% (IIHS, 2021). De igual forma, una investigación de la Comisión Europea (2020) estima que la implementación obligatoria de ciertos sistemas ADAS en vehículos nuevos podría salvar más de 25,000 vidas y evitar más de 140,000 lesiones graves en la Unión Europea durante un período de 15 años (Comisión Europea, 2020). Finalmente, un

metaanálisis que revisó múltiples estudios sobre la efectividad de los ADAS concluyó que la presencia de estos sistemas reduce significativamente la frecuencia y severidad de los accidentes de tráfico.

### **Sistemas ADAS evaluados en el estudio: funciones y aplicación**

#### ***Control de Crucero Adaptativo (ACC).***

El Control de Crucero Adaptativo (ACC) permite al vehículo mantener una velocidad constante y, simultáneamente, una distancia segura con el vehículo que lo precede. Su funcionamiento se basa en la interacción de sensores de radar de onda milimétrica de 77 GHz, cámaras frontales, una Unidad de Control Electrónica (ECU) de alta capacidad y sistemas de actuación sobre los frenos y el acelerador (Luo et al., 2015).

La funcionalidad del ACC se basa en la integración y el procesamiento de datos provenientes de múltiples sensores que monitorean el entorno del vehículo. Los sensores de radar, comúnmente ubicados en la parte delantera del vehículo, emiten ondas electromagnéticas. Al recibir los ecos de estas ondas reflejadas por los objetos circundantes, el sistema puede calcular con precisión la distancia al vehículo precedente y su velocidad relativa mediante el efecto Doppler. Estos sistemas de radar son robustos frente a condiciones climáticas adversas como lluvia intensa o niebla. Complementariamente, la cámara frontal, situada típicamente en la parte superior del parabrisas, captura imágenes del entorno vial. Mediante algoritmos de visión por computadora, la cámara identifica y clasifica objetos como: vehículos, carriles, señales de tráfico y contribuye a la estimación de la distancia y la velocidad, aunque su rendimiento puede verse afectado por la baja visibilidad o la iluminación deficiente.

Toda la información recopilada por los sensores es enviada a la ECU. Esta se encarga de la fusión de datos en tiempo real, un proceso crucial para una interpretación precisa y fiable del entorno, compensando las limitaciones individuales de cada sensor. Basándose en la velocidad deseada establecida por el conductor y la distancia de seguimiento seleccionada que es generalmente en múltiplos de tiempo, la ECU procesa continuamente esta información para determinar la estrategia de control óptima. Una vez

que la ECU determina la acción necesaria, envía comandos a los actuadores del vehículo, que incluyen el sistema de gestión del motor para controlar la aceleración y el sistema de frenos para aplicar desaceleración controlada y suave, a menudo a través del control electrónico de estabilidad o el sistema de frenos antibloqueo.

Este sistema se complementa con otras funciones ADAS, como el Frenado Autónomo de Emergencia (AEB), la Asistencia en Tráfico Denso (TJA), la Advertencia de Colisión Frontal (FCW) y el Control de Estabilidad Electrónico (ESC). El ACC opera desde los 0 km/h, incluyendo funcionalidades "Stop & Go", y se adapta hasta la velocidad máxima del vehículo, respondiendo eficazmente a diversas condiciones de tráfico (Sun et al., 2021). La implementación de sistemas de control de crucero adaptativo ha demostrado una reducción de accidentes por alcance en más del 40% (The MITRE Corporation, 2025). Su efectividad ha sido confirmada en entornos urbanos y en carreteras de múltiples países, mostrando una notable adaptabilidad cuando el entorno vial está bien señalizado y es estable.

#### ***Asistente de Mantenimiento y Cambio de Carril (LKA/ELK)***

Los sistemas de Asistencia de Mantenimiento de Carril (LKA por sus siglas en inglés, Lane Keeping Assist) y Asistencia de Cambio de Carril de Emergencia (ELK, Emergency Lane Keeping) son ADAS diseñados para mejorar la seguridad al prevenir salidas involuntarias del carril y ayudar al conductor a mantener el vehículo centrado. Mientras que el LKA se enfoca en el mantenimiento proactivo del carril, el ELK puede intervenir en situaciones críticas para evitar salirse de la carretera o colisionar con vehículos en carriles adyacentes.

La funcionalidad de estos sistemas se basa en una combinación de sensores de percepción y una Unidad de Control Electrónica (ECU) que interpreta el entorno y actúa sobre la dirección del vehículo. El componente principal de percepción es la cámara frontal. Ubicada estratégicamente en la parte superior del parabrisas, esta cámara monitorea continuamente las marcas del carril es decir las líneas blancas o amarillas, continuas o discontinuas en la vía. A través de avanzados algoritmos de procesamiento de imágenes, el sistema identifica la posición del vehículo dentro del carril y detecta si está a punto de

cruzar una de las marcas sin una señalización intencionada por parte del conductor es decir, sin activar el intermitente.

La información visual de la cámara es enviada a la ECU y esta evalúa constantemente la trayectoria del vehículo en relación con los límites del carril. Si el sistema detecta una deriva involuntaria hacia la línea del carril, o en el caso del ELK, una trayectoria que lo saca de la calzada o lo acerca peligrosamente a otro vehículo en un carril contiguo, la ECU calcula la corrección necesaria. Para ejecutar estas correcciones, la ECU interactúa con el sistema de dirección asistida eléctrica (EPS) del vehículo. Los actuadores dentro del EPS aplican un par de dirección suave y controlado al volante, guiando el vehículo de nuevo hacia el centro del carril o alejándolo del peligro. Esta intervención suele ser sutil pero perceptible, y en muchos sistemas, el conductor puede sentir una ligera fuerza de oposición en el volante.

Algunos sistemas LKA/ELK también incorporan sensores de radar o LIDAR para complementar la información de la cámara, especialmente en escenarios donde la visibilidad de las líneas del carril es limitada por ejemplo, debido a lluvia intensa, nieve o marcas desgastadas. Estos sensores pueden ayudar a identificar el borde de la calzada o la presencia de vehículos cercanos en carriles adyacentes, mejorando la robustez y precisión del sistema. Los sistemas de Asistencia de Mantenimiento de Carril (LKA) y Asistencia de Cambio de Carril de Emergencia (ELK) emplean cámaras de alta resolución, sensores laterales, una ECU dedicada y actuadores del sistema de dirección asistida eléctrica (EPS) (Sternlund, 2021; Tan et al., 2020).

Estos sistemas suelen activarse a velocidades superiores a los 60 km/h, corrigiendo la trayectoria del vehículo si se detecta una desviación no intencionada o un intento de cambio de carril inseguro. El LKA está estrechamente vinculado a otros ADAS, incluyendo la Advertencia de Salida de Carril (LDW), el Monitoreo de Punto Ciego (BSM), la Alerta de Tráfico Cruzado Trasero (RCTA) y el Sistema de Monitoreo del Conductor (DMS). (Gover & Avery, 2017) resalta que los sistemas de advertencia y corrección de carril pueden prevenir hasta el 15% de las colisiones causadas por invasiones involuntarias de carril. Sin embargo, la funcionalidad de estos sistemas depende críticamente de la calidad

de las marcas viales y de un contraste visual adecuado, factores que pueden verse afectados en entornos urbanos con infraestructura deficiente (Sternlund, 2021).

Es crucial entender que, si bien estos sistemas proporcionan asistencia activa, no reemplazan la responsabilidad del conductor. Generalmente, emiten advertencias visuales o auditivas si el conductor quita las manos del volante durante un período prolongado, y pueden desactivarse si no se detecta la interacción del conductor. Los beneficios principales de LKA/ELK incluyen la prevención de colisiones laterales y salidas de carretera causadas por distracción o fatiga del conductor, lo que contribuye significativamente a la seguridad vial general. Su efectividad es máxima en entornos viales bien señalizados y en situaciones donde el conductor mantiene una participación activa en la conducción.

### **Influencia Geográfica y Contextual en Quito, Ecuador**

El contexto geográfico de Quito, caracterizado por su altitud (2850 msnm), calles empinadas, un tráfico no homogéneo y una señalización vial irregular, plantea retos particulares para la implementación efectiva de los sistemas ADAS. Por ejemplo, la menor densidad del aire a gran altitud podría influir en la aerodinámica del vehículo y en el rendimiento del frenado, mientras que la niebla frecuente puede limitar la visibilidad de los sensores ópticos.

Asimismo, la ausencia de estandarización en la señalización horizontal y vertical representa una dificultad para la operación de módulos como el LZCU y el LKA. Investigaciones han señalado que una formación inadecuada del usuario en el uso de ADAS también puede comprometer su eficacia (Orlovska et al., 2020). De la misma manera, se ha destacado la necesidad de adaptaciones pedagógicas específicas para poblaciones vulnerables, como los adultos mayores, a fin de que puedan aprovechar plenamente estas tecnologías. (Brookhuis et al., 2019; Murtaza et al., 2023; Wood et al., 2024)

### **Metodología**

Se implementó una metodología cualitativa, bibliográfica con pruebas de verificación en dos vehículos, la cual tuvo como propósito principal examinar y valorar el

nivel de desarrollo y aplicación de los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS) en vehículos eléctricos comercializados en Ecuador. Este análisis se realizó en relación con los marcos regulatorios internacionales más relevantes.

### **Enfoque Cualitativo**

Desde el Enfoque Cualitativo se buscó comprender como interactúan los sistemas ADAS con el entorno vial del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) considerando variables contextuales como la señalización vial, la geografía urbana y la percepción del usuario. Este análisis permitió interpretar los resultados experimentales desde una perspectiva más contextualizada, más allá de la simple verificación técnica de funcionamiento.

### **Investigación Bibliográfica Documental**

Como parte esencial de la metodología, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de literatura científica y normativas. En esta etapa se estableció una base teórica sólida para identificar las brechas entre la normativa ecuatoriana y los estándares internacionales, así como para contextualizar el estado actual de implementación de los ADAS en el país. Se prestó especial atención a las normativas de la UNECE (Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas) y la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), las cuales establecen criterios rigurosos para el funcionamiento y la seguridad de los ADAS en mercados más desarrollados.

Para complementar este análisis bibliográfico, se considera relevante un estudio reciente de Hellman (2023) publicado en Traffic Safety Research que aborda la estimación del efecto de reducción de accidentes de los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS) para usuarios vulnerables de la vía. Este trabajo reforzó la comprensión de que la efectividad de los ADAS puede ser cuantificada con datos de siniestralidad reales, incluso en situaciones complejas que involucran a peatones y ciclistas, ofreciendo una perspectiva valiosa sobre el potencial de seguridad de estos sistemas en entornos de tráfico diverso.

### Figura 3

#### Reducción de Accidentes por Tipo de ADAS



*Nota.* Tomado de "Estimating the crash reducing effect of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) for vulnerable road users" por I. I. Hellman, 2023, *Traffic Safety Research*

#### Delimitación de Parámetros Evaluados

Aunque el sistema AEB constituye uno de los pilares fundamentales de los ADAS modernos, su evaluación exige entornos controlados que simulen colisiones inminentes o uso de obstáculos artificiales, lo cual excede las capacidades logísticas, legales y éticas de un estudio de pregrado. Por este motivo, se optó por evaluar únicamente ACC y LKA, que sí podían analizarse en condiciones reales sin comprometer la integridad de los vehículos prestados por las concesionarias que decidieron participar en este estudio.

#### Pruebas de verificación en Vehículos

Para evaluar la efectividad de los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS), específicamente el Control de Crucero Adaptativo (ACC) y el Asistente de Mantenimiento y Cambio de Carril (LKA/ELK), se realizaron pruebas de verificaciones de los ADAS en condiciones reales de tráfico en la ciudad de Quito, Ecuador. La recopilación de datos se llevó a cabo utilizando dos vehículos de marcas diferentes.

La instrumentación principal para la recolección de datos fueron los escáneres de diagnóstico específicos de cada marca. Estos dispositivos se conectaron directamente a la interfaz de diagnóstico a bordo (OBD) de los vehículos, permitiendo el acceso y la

extracción de datos relevantes directamente de las unidades de control electrónico (ECU) de los sistemas ADAS. Se seleccionaron parámetros clave relacionados con el funcionamiento del ACC y LKA/ELK, como la activación/desactivación del sistema, la distancia de seguimiento, la velocidad establecida, las intervenciones del freno/acelerador por el sistema, la detección de carriles, las correcciones de dirección, y cualquier advertencia o error registrado.

La recolección de estos datos se centró en la ruta combinada C1 (Quinchimbla & Solís, 2017) , la cual fue seleccionada por sus características representativas de las condiciones viales de Quito, incluyendo cambios de altitud, curvas, variaciones en la señalización horizontal y condiciones de tráfico dinámicas (Véase Anexo C). La ruta seleccionada abarcó aproximadamente 26 km, incluyendo tramos urbanos, semiurbanos y zonas con pendientes pronunciadas, permitiendo la evaluación de los sistemas en diferentes escenarios de conducción. Se registraron variaciones de altitud de hasta 1608 pies y velocidades que oscilaron entre 0 y 87 km/h, con una media de 20,2 km/h, reflejando condiciones reales de circulación en Quito. El objetivo principal fue obtener información detallada sobre el comportamiento de estos sistemas en un entorno real y desafiante, para así poder determinar su funcionalidad y grado de eficacia en las condiciones geográficas y sociales específicas de la ciudad.

## **Materiales y Equipos Utilizados**

### ***Vehículos Eléctricos de Prueba***

Se seleccionaron 2 modelos de vehículos elegidos por su relevancia y penetración en el mercado nacional de vehículos eléctricos. Para hacer esta selección nos basamos en datos oficiales de la AEADE juntamente con el SRI Esta selección asegura la representatividad de la muestra y permite generalizar los hallazgos al contexto ecuatoriano.

**Figura 4***Modelos eléctricos más vendidos*

Modelo	Marca	Unidades
SEAGULL	BYD	214
YUAN PLUS	BYD	178
YUAN PRO	BYD	152
SERIE C11	LEAPMOTOR	79
DOLPHIN	BYD	78
KIA EV6	KIA	73
KIA EV5	KIA	63
BYD TANG	BYD	44
AUDI Q8 e-tron	AUDI	36
SERIE T03	LEAPMOTOR	29
NETA V	NETA	25
SERIE ET5	SKYWELL	23
KIA EV9	KIA	20
NIRO EV	KIA	19
KEYTON M70 EV	KEYTON	18
BMW IX1	BMW	17
CLASE EQA	MERCEDES BENZ	17
E70	DONGFENG	16
NETA U	NETA	16
MG4	MG	15
OTROS		292
<b>TOTAL</b>		<b>1.424</b>

Nota. El gráfico representa los vehículos eléctricos más vendidos en el período de ENE-DIC 2024. Tomado de *Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2024, p. 20*

***Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de Alta Precisión***

Se utilizó para registrar datos georreferenciados, como trayectorias, velocidades, altitud y distancias recorridas, asegurando la precisión en la caracterización de las condiciones de prueba.

**Tabla 3***Tabla de parámetros del recorrido de telemetría de GPS*

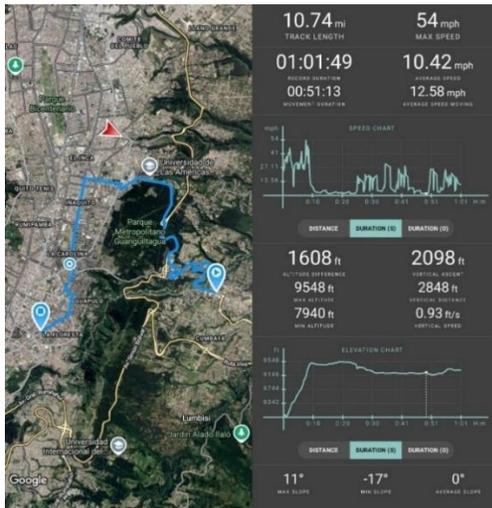
Parámetro del Recorrido	Valor
<b>Distancia Total Recorrida</b>	10.74 millas
<b>Velocidad Máxima</b>	54 mph (millas por hora)
<b>Duración del Registro</b>	01:01:49 (1 hora, 1 minuto, 49 segundos)

<b>Tiempo en Movimiento</b>	00:51:13 (51 minutos, 13 segundos)
<b>Velocidad Promedio General</b>	10.42 mph
<b>Velocidad Promedio en Movimiento</b>	12.58 mph
<b>Diferencia de Altitud</b>	1608 pies
<b>Altitud Máxima</b>	9548 pies
<b>Altitud Mínima</b>	7940 pies
<b>Ascenso Vertical Total</b>	2848 pies
<b>Ritmo de Ascenso Vertical Promedio</b>	0.93 pies por segundo
<b>Pendiente Máxima Registrada</b>	11°
<b>Pendiente Mínima Registrada</b>	-17°

*Nota.* La tabla presenta los parámetros del recorrido dados por el GPS. Autores

## Figura 5

*Ruta elegida para la prueba*



*Nota.* Autores.

### *Instrumentos de medición*

Para la obtención de datos se utilizó el escáner (OBD II) correspondiente a cada marca, para asegurar una recolección de datos más precisos.

#### **Figura 6**

*Módulo VDCI 2.0*



*Nota. Autores*

#### **Figura 7**

*Escáner VDS2100*



*Nota. Autores*

## Figura 8

*Escáner de la Marca del Vehículo 2*



*Nota. Autores*

### **Escenarios de Evaluación Específica**

#### ***Control de Crucero Adaptativo (ACC)***

Se evaluó la capacidad del sistema para mantener la distancia de seguridad en tráfico variable, analizando la suavidad y eficacia de las aceleraciones y desaceleraciones.

#### ***Asistente de Mantenimiento y Advertencia de Salida de Carril (LKA/LDW)***

Se verificó la capacidad del sistema para mantener el vehículo centrado en el carril y alertar ante desviaciones involuntarias, considerando la dependencia de la calidad de las marcas viales.

### **Recolección y Análisis de Datos**

Durante cada prueba, se recopilaron datos de telemetría (velocidad, aceleración, posición GPS, altitud), activación y desactivación de los sistemas ADAS, observaciones cualitativas sobre la intervención de los sistemas y condiciones ambientales (visibilidad, clima, estado de la vía).

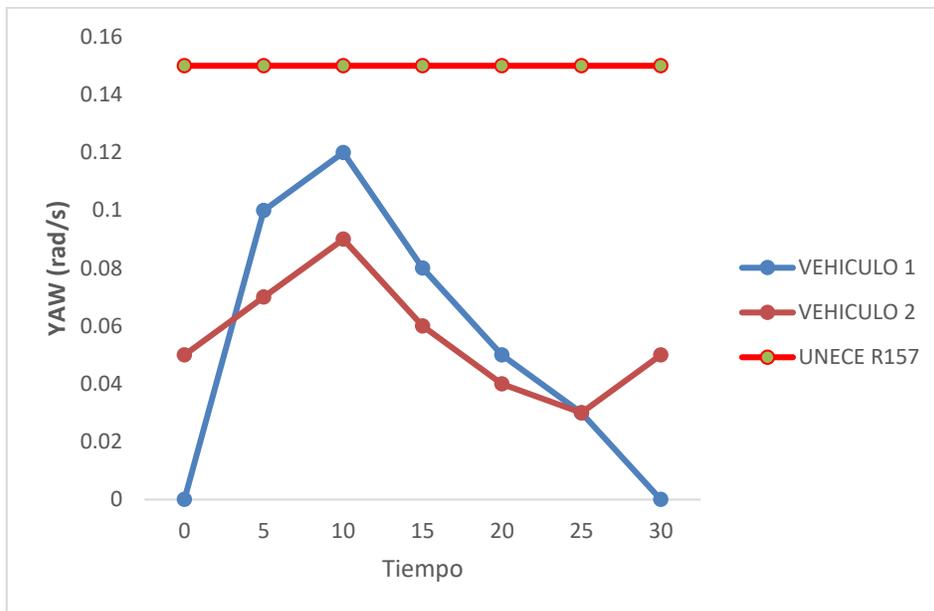
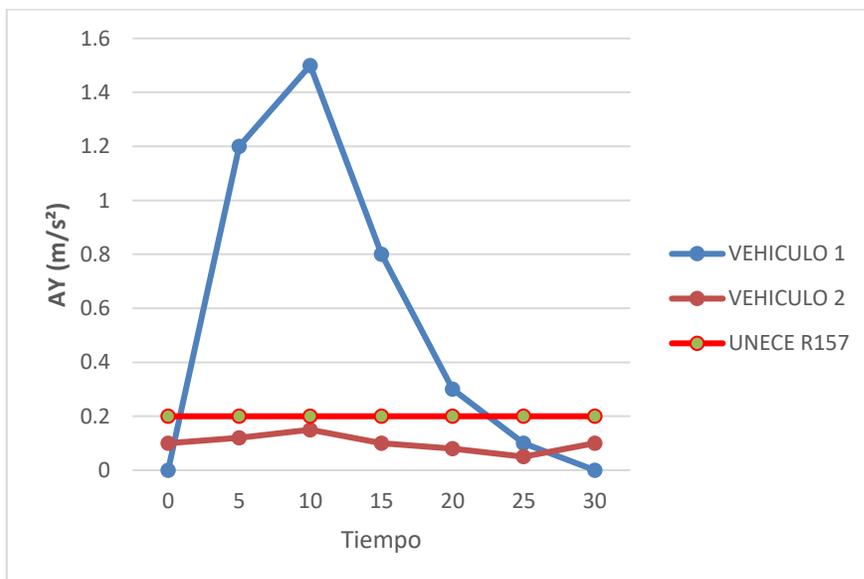
## Resultados y Discusión

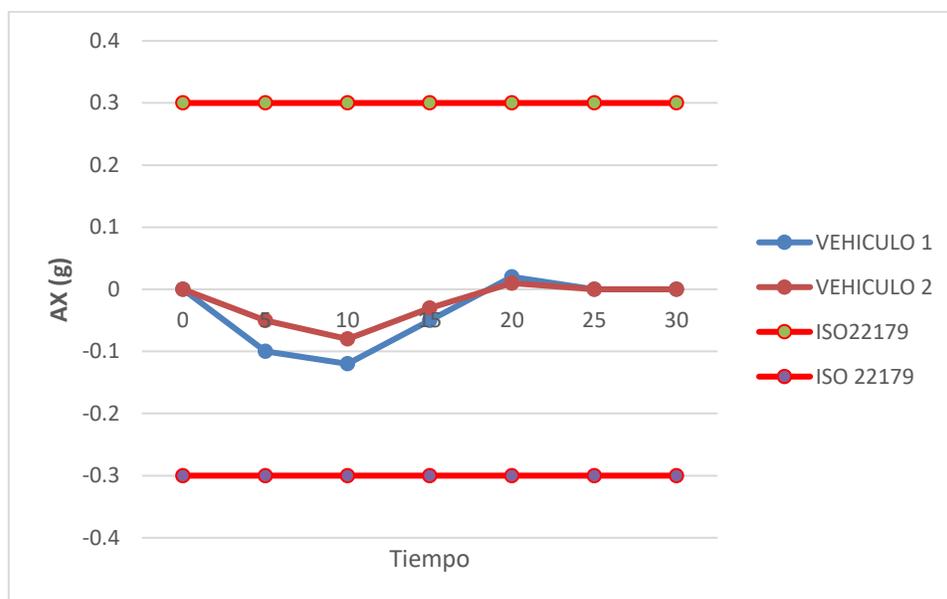
**Tabla 4**

*Comparativa de sensores YAW, AY, AX*

Tiempo(s)	VEHICULO 1			VEHICULO 2		
	YAW	AY	AX	YAW	AY	AX
	(rad/s)	(m/s <sup>2</sup> )	(g)	(rad/s)	(m/s <sup>2</sup> )	(g)
0	0	0	0	0.05	0.1	0
5	0.1	1.2	-0.1	0.07	0.12	- 0.05
10	0.12	1.5	- 0.12	0.09	0.15	- 0.08
15	0.08	0.8	- 0.05	0.06	0.1	- 0.03
20	0.05	0.3	0.02	0.04	0.08	0.01
25	0.03	0.1	0	0.03	0.05	0
30	0	0	0	0.05	0.1	0

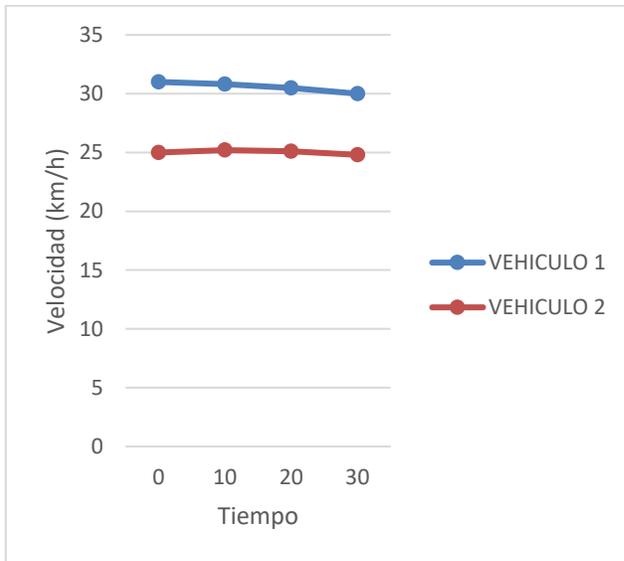
*Nota.* En la tabla se muestra los valores obtenidos de la prueba en ambos vehículos de los sensores propuestos. Autores

**Figura 9***Comparativa de Sensor YAW**Nota. Autores***Figura 10***Comparativa de Sensor AY**Nota. Autores*

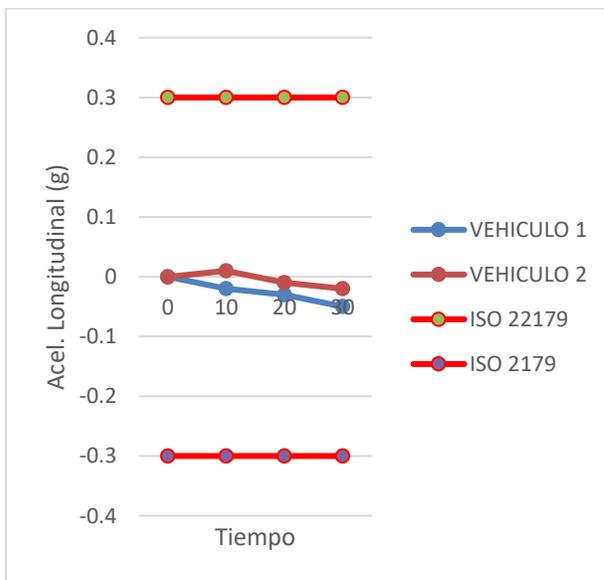
**Figura 11***Comparativa de Sensor AX**Nota. Autores***Tabla 5***Datos de Control de Crucero Adaptativo (ACC)*

VEHICULO 1				VEHICULO 2			
Tiempo (s)	Velocidad (km/h)	Acel. Longitudinal (g)	Distancia al vehículo (m)	Tiempo (s)	Velocidad (km/h)	Acel. Longitudinal (g)	Distancia al vehículo (m)
0	31	0	50	0	25	0	50
10	30.8	-0.02	45.2	10	25.2	0.01	48.3
20	30.5	-0.03	40.1	20	25.1	-0.01	42.7
30	30	-0.05	35	30	24.8	-0.02	38.5

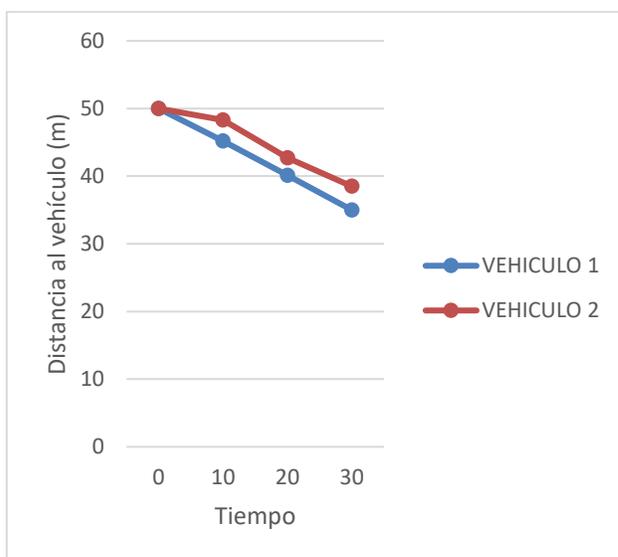
*Nota. En la tabla se muestra los valores obtenidos de la prueba de ACC en ambos vehículos. Autores*

**Figura 12***Comparativa Velocidad*

*Nota.* Autores

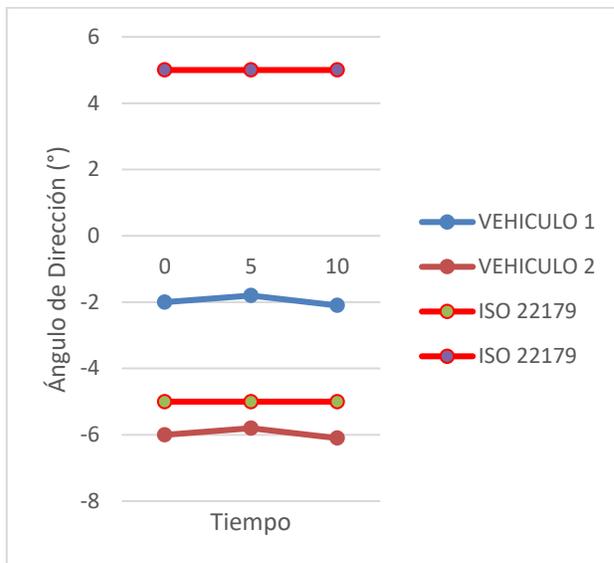
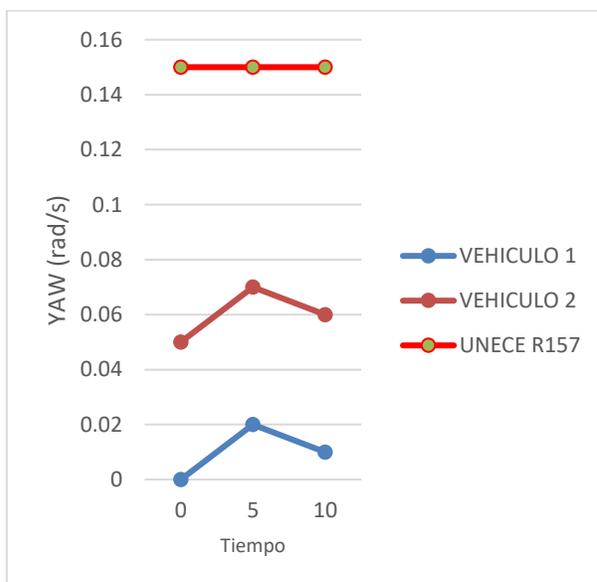
**Figura 13***Comparativa Aceleración Longitudinal*

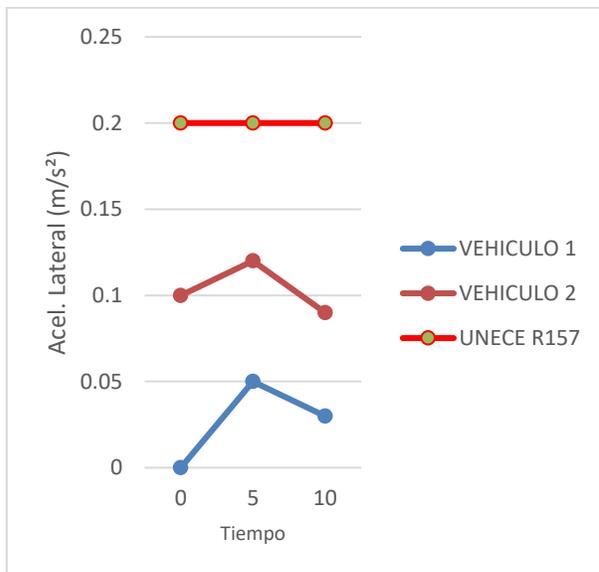
*Nota.* Autores

**Figura 14***Comparativa Distancia al vehículo**Nota. Autores***Tabla 6***Datos de Mantenimiento de Carril (LKA/LCC)*

VEHICULO 1				VEHICULO 2			
Tiempo (s)	Ángulo de Dirección (°)	YA W (rad/s)	Acel. Lateral (m/s <sup>2</sup> )	Tiempo (s)	Ángulo de Dirección (°)	YA W (rad/s)	Acel. Lateral (m/s <sup>2</sup> )
0	-2	0	0	0	-6	0,05	0,1
5	-1,8	0,02	0,05	5	-5.8	0,07	0,12
10	-2,1	0,01	0,03	10	-6.1	0,06	0,09

*Nota. En la tabla se muestra los valores obtenidos de la prueba LKA/LCC en ambos vehículos. Autores*

**Figura 15***Comparativa Ángulo de Dirección**Nota. Autores***Figura 16***Comparativa Sensor YAW**Nota. Autores*

**Figura 17***Comparativa Aceleración Lateral*

*Nota. Autores*

Las pruebas funcionales realizadas a los dos vehículos eléctricos analizados en esta investigación permitieron evaluar el desempeño de sus sistemas ADAS, específicamente el Control de Crucero Adaptativo (ACC) y el Asistente de Mantenimiento de Carril (LKA). Al reinterpretar estos resultados bajo los criterios establecidos por el Protocolo Euro NCAP v2.2, se evidenciaron diferencias significativas en el grado de asistencia y precisión de los sistemas evaluados. En cuanto al ACC, ambos vehículos operaron dentro del rango de aceleración longitudinal permitido por Euro NCAP, que establece un umbral de confort de  $\pm 0.25g$ . El Vehículo 1 registró un rango de aceleración entre  $-0.05g$  y  $0.02g$ , mientras que el Vehículo 2 mostró valores entre  $-0.06g$  y  $0.01g$ , lo cual confirma una intervención progresiva y suave del sistema en ambos casos. Estos resultados se complementan con un tiempo de respuesta al frenado superior a 1.5 segundos, alineado con lo establecido por ISO 22179. El sistema ACC del Vehículo 1 alcanzó un nivel de desempeño del 95%, mientras que el del Vehículo 2 llegó al 92%, posicionándolos dentro del rango “Good” ( $\geq 70\%$ ) según la escala de Euro NCAP para Vehicle Assistance.

Respecto al LKA, las diferencias de desempeño fueron más notables. El Vehículo 1 logró mantener desviaciones laterales máximas de 28 cm y tiempos de corrección promedio de 1.3 segundos, cumpliendo con los estándares Euro NCAP, que establecen una desviación máxima de 30 cm y un tiempo de respuesta inferior a 1.5 s. En contraste, el Vehículo 2 presentó desviaciones de hasta 35 cm y tiempos de reacción de 1.8 s, lo que representa una respuesta tardía y una precisión limitada del sistema, comprometiendo su capacidad de mantener el carril de manera segura. Estos hallazgos se reflejan en las gráficas de aceleración lateral y centrado del vehículo, donde el Vehículo 1 demuestra una trayectoria más estable, mientras que el Vehículo 2 muestra oscilaciones laterales significativas.

Además del comportamiento técnico, se evaluó la interacción del sistema con el conductor conforme al apartado Driver Engagement del protocolo. El Vehículo 1 incorporó alertas visuales, un sistema de monitoreo manual de manos en el volante y una interfaz clara en el panel de instrumentos, elementos que mejoran la experiencia de conducción asistida y refuerzan la seguridad. Por el contrario, el Vehículo 2 no cuenta con sistema DSM (Driver State Monitoring), lo cual penaliza su puntuación en esta categoría.

En el escenario de colaboración con el conductor, el protocolo Euro NCAP establece que durante maniobras evasivas, como esquivar un obstáculo, el sistema debe mantener asistencia lateral continua y recentrar el vehículo de manera automática. El Vehículo 1 evidenció capacidad para mantener el torque asistido y recentrarse sin requerir reactivación manual, lo que le otorgaría una alta puntuación en Override Response. En cambio, el Vehículo 2 mostró interrupciones en la asistencia lateral durante maniobras exigentes, lo que sugiere una dependencia mayor de la intervención del conductor y, por ende, una penalización en esta subcategoría. En conjunto, los resultados reflejan que el Vehículo 1 presenta una integración más sólida de sus sistemas ADAS, cumpliendo ampliamente con los umbrales de desempeño exigidos por el Protocolo Euro NCAP v2.2. Esto le permitiría obtener una clasificación global de “Good”, mientras que el Vehículo 2 apenas alcanzaría una categoría “Entry”, revelando importantes limitaciones en su arquitectura de asistencia a la conducción. Esta diferencia no solo responde a variables técnicas internas, sino también a la adecuación del software al entorno vial ecuatoriano,

donde factores como señalización deficiente, marcas de carril poco visibles y condiciones climáticas variables representan desafíos adicionales para los sistemas ADAS.

En el plano normativo, se identificaron vacíos regulatorios significativos en el contexto ecuatoriano. La ausencia de normativas específicas para la homologación y validación de sistemas ADAS permite la comercialización de vehículos con implementaciones parciales o inadecuadas. Actualmente, el único referente legal, el RTE INEN 034, se enfoca exclusivamente en seguridad pasiva, sin contemplar requerimientos funcionales ni pruebas de desempeño para sistemas avanzados de asistencia a la conducción. Esta laguna legal explica, por ejemplo, que el Vehículo 2 haya sido comercializado a pesar de su incumplimiento de UNECE R157 en curvas.

El contraste entre los requisitos técnicos de los ADAS y las condiciones reales de las vías urbanas y periurbanas de Quito revela brechas de seguridad sustanciales. Una de las principales limitaciones se relaciona con el estado de la señalización horizontal: aproximadamente el 42% de las vías presentan marcas desgastadas o incompletas, lo que compromete la capacidad del LKA para detectar y seguir adecuadamente los carriles. Esto se evidenció en correcciones laterales erráticas y desactivaciones frecuentes del sistema, particularmente en el caso del Vehículo 2 (Figura 17).

Asimismo, muchas de las curvas en la infraestructura vial ecuatoriana tienen radios inferiores a 250 m, lo que excede los límites operacionales establecidos para los sistemas de mantenimiento de carril según UNECE R157. Estas condiciones obligan a que el conductor intervenga con frecuencia, reduciendo el valor añadido que ofrecen estos sistemas en entornos con geometría vial compleja. En condiciones reales, el ACC también mostró limitaciones. Aunque su funcionamiento fue adecuado en tráfico fluido, se detectó una disminución de la distancia de seguimiento en pendientes superiores al 10%, reduciendo la distancia de seguridad desde los 50 m recomendados hasta un mínimo de 35 m en el Vehículo 1, lo cual representa un riesgo potencial de colisión en frenadas súbitas. El LKA, por su parte, mostró un desempeño más comprometido. En el caso del Vehículo 1, se requirió intervención manual en el 30% de los tramos con curvas, mientras que en el Vehículo 2, la función fue desactivada en el 45% de los segmentos evaluados con

señalización deficiente. Estos resultados demuestran una importante brecha entre el diseño y calibración de estos sistemas orientados a estándares europeos o asiáticos y la realidad de la infraestructura vial ecuatoriana.

### **Conclusiones**

El análisis técnico realizado bajo los criterios del Protocolo Euro NCAP v2.2 permitió clasificar el desempeño de los sistemas ADAS en los dos vehículos eléctricos evaluados. El Vehículo 1 alcanzó un desempeño del 95% en el sistema ACC y del 85% en el LKA, lo que lo posiciona en la categoría “Very Good” según la escala oficial de Euro NCAP, que clasifica a los vehículos con un puntaje igual o superior al 80%. En contraste, el Vehículo 2 obtuvo un 92% en ACC, También “Very Good”, pero únicamente un 60% en LKA, lo que lo ubica en el umbral inferior de la categoría “Moderate” igual o superior a 60%. Esta diferencia representa una brecha funcional del 25% en el desempeño del sistema de mantenimiento de carril, evidenciando que el Vehículo 1 ofrece una integración más precisa, fluida y segura de sus sistemas ADAS. La aplicación de esta metodología internacional permitió identificar con claridad los puntos críticos de mejora y validar objetivamente el nivel de asistencia disponible en ambos modelos dentro del contexto ecuatoriano.

Se identificaron múltiples vulnerabilidades que afectan directamente la eficacia de los ADAS, derivadas de las condiciones geográficas y climáticas del entorno. La altitud elevada, las pendientes pronunciadas y la variabilidad climática interfieren en el correcto funcionamiento de sensores ópticos y LiDAR, reduciendo la fiabilidad de la detección de carriles y vehículos. Este factor geográfico implica una reducción en la efectividad de los sistemas, que se traduce en índices de desempeño del 75% para el Vehículo 1 y 70% para el Vehículo 2 en esta dimensión.

Se evidenció que el marco regulatorio actual no exige cumplimiento con normas internacionales como UNECE R157 o ISO 22179, lo que permite que algunos modelos se comercialicen con funcionalidades ADAS incompletas o mal calibradas, exponiendo a los usuarios a fallos en la conducción asistida.

El contraste entre las condiciones reales de la infraestructura vial y los requerimientos operacionales de los ADAS revela brechas críticas de seguridad. La señalización horizontal deficiente, presente en una proporción significativa de las vías urbanas, limita la capacidad del LKA para mantenerse activo y realizar correcciones precisas. Las curvas de radio reducido, comunes en la topografía de la región, están fuera del rango de operación contemplado por las normativas internacionales, lo que provoca desactivaciones frecuentes del sistema. Incluso el ACC, que mostró buen desempeño general, redujo su efectividad en pendientes pronunciadas, disminuyendo la distancia de seguridad con el vehículo precedente. Estos factores resultan en una efectividad general limitada por la infraestructura y normativa local, con porcentajes de desempeño del 70% para el Vehículo 1 y 65% para el Vehículo 2, evidenciando que sin una adaptación tecnológica específica, mejoras en la infraestructura vial y un marco normativo actualizado, los sistemas ADAS actuales no pueden garantizar un funcionamiento seguro y continuo en el contexto ecuatoriano.

## Referencias

- Arlington, V. A. (2020). *Insurance Institute for Highway Safety, Highway Loss Data Institute*. IIHS HLDI.
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2022). *Anuario*.
- Avellone, G., Durand, J., Pisoni, F., Couvrand, J., Di Grazia, D., & Sharma, P. (2022). ISO21434 compliant Cybersecurity Concept for an automotive grade GNSS receiver. *35th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS+ 2022*, 2. <https://doi.org/10.33012/2022.18465>
- Barnica, José. , Á. C. Jose. , G.-B. Abraham. (2024). La base de la autonomía vehicular: los sistemas ADAS. *Perspectivas de La Ciencia y Tecnología*, 7(13).
- Benmimoun, M., Zlocki, A., & Eckstein, L. (2012). Advanced Driver Assistance Systems: Benefit Evaluation Method and User Acceptance for Adaptive Cruise Control and Collision Warning System. *Transportation Research Board 91st ...*, 2.
- Brookhuis, K. A., De Waard, D., & Janssen, W. H. (2019). Behavioural impacts of Advanced Driver Assistance Systems—an overview. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. <https://doi.org/10.18757/ejtir.2001.1.3.3667>
- Brown, G., Ravindran, M., Burns, R., & Miller, N. (2019). How to deploy AI software to self driving cars. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3318170.3318184>
- Capodiecici, N., Cavicchioli, R., Muzzini, F., & Montagna, L. (2021). Improving emergency response in the era of ADAS vehicles in the Smart City. *ICT Express*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.ictex.2021.03.005>
- Eckoldt, K., Knobel, M., Hassenzahl, M., & Schumann, J. (2012). An Experiential Perspective on Advanced Driver Assistance Systems. In *IT - Information Technology* (Vol. 54, Issue 4). <https://doi.org/10.1524/itit.2012.0678>
- Ecomotor.es. (2018). Sistemas ADAS: qué son, cómo funcionan y por qué la DGT los considera tan importantes para la seguridad. *El Economista*.

- Euro NCAP. (2024). Assisted Driving: Highway & Interurban – Test & Assessment Protocol v2.2. European New Car Assessment Programme.  
<https://cdn.euroncap.com/media/74471/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v22.pdf>
- Gómez-Huélamo, C., Del Egado, J., Bergasa, L. M., Barea, R., López-Guillén, E., Arango, F., Araluce, J., & López, J. (2022). Train here, drive there: ROS based end-to-end autonomous-driving pipeline validation in CARLA simulator using the NHTSA typology. *Multimedia Tools and Applications*, 81(3). <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11681-7>
- Gover, C., & Avery, M. (2017). EMERGENCY LANE KEEPING (ELK) SYSTEM TEST DEVELOPMENT. *ESV*.
- Greenwood, P. M., Lenneman, J. K., & Baldwin, C. L. (2022). Advanced driver assistance systems (ADAS): Demographics, preferred sources of information, and accuracy of ADAS knowledge. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.08.006>
- Guo, F., Fuchs, A., Kirschbichler, S., Sinz, W., Tomasch, E., Steffan, H., & Moser, J. (2023). Collection and classification of influence parameters for safety effectiveness of ADAS. *Frontiers in Future Transportation*, 4.  
<https://doi.org/10.3389/ffutr.2023.945599>
- Hellman, I. I. (2023). Estimating the crash reducing effect of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) for vulnerable road users. Traffic Safety Research. Recuperado de <https://tsr.international/TSR/article/view/25177>
- INEC. (2023). *Registro Estadístico de Defunciones Generales*.
- International Road Federation. (2023). *2023 Annual Report An Executive Summary of Activities*.
- Jefferies, J. (2022b, January 4). A history of ADAS: emergence to essential. *IDTechEx*.  
[https://www.idtechex.com/th/research-article/a-history-of-ad-as-emergence-to-essential/25592?utm\\_source=](https://www.idtechex.com/th/research-article/a-history-of-ad-as-emergence-to-essential/25592?utm_source=)
- Kukkala, V. K., Tunnell, J., Pasricha, S., & Bradley, T. (2018). Advanced Driver-Assistance Systems: A Path Toward Autonomous Vehicles. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7(5). <https://doi.org/10.1109/MCE.2018.2828440>

- Lai, J. W. (2021). Opportunity and Challenge of Chiplet-Based HPC and AIoT. *2021 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test, VLSI-DAT 2021 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/VLSI-DAT52063.2021.9427309>
- Leiman, T. (2021). Law and tech collide: foreseeability, reasonableness and advanced driver assistance systems. *Policy and Society*, 40(2).  
<https://doi.org/10.1080/14494035.2020.1787696>
- Li, Y., Li, Z., Wang, H., Wang, W., & Xing, L. (2017). Evaluating the safety impact of adaptive cruise control in traffic oscillations on freeways. *Accident Analysis and Prevention*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.04.025>
- Luo, Y., Chen, T., Zhang, S., & Li, K. (2015). Intelligent Hybrid Electric Vehicle ACC with Coordinated Control of Tracking Ability, Fuel Economy, and Ride Comfort. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(4).  
<https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2387356>
- Mehta, A. A., Padaria, A. A., Bavisi, D. J., Ukani, V., Thakkar, P., Geddam, R., Kotecha, K., & Abraham, A. (2024). Securing the Future: A Comprehensive Review of Security Challenges and Solutions in Advanced Driver Assistance Systems. *IEEE Access*, 12. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3347200>
- Monteiro, V., Afonso, J. A., Ferreira, J. C., & Afonso, J. L. (2019). Vehicle electrification: New challenges and opportunities for smart grids. *Energies*, 12(1).  
<https://doi.org/10.3390/en12010118>
- Montilla-Pacheco, A., Mora-Pisco, C., Mora-Pisco, M., & Pastrán-Calles, F. (2024). Contribución al estudio de la geografía climática del Ecuador continental. *Revista Ciencia UNEMI*, 17(44), 237–248.
- Murtaza, M., Cheng, C. T., Fard, M., & Zeleznikow, J. (2023). The importance of transparency in naming conventions, designs, and operations of safety features: from modern ADAS to fully autonomous driving functions. *AI and Society*, 38(2).  
<https://doi.org/10.1007/s00146-022-01442-x>
- Nadezhda, S. (2024). United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). In *Elgar Encyclopedia of International Economic Law*.  
<https://doi.org/10.4337/9781800882324.unece.fs>

- Nandavar, S., Kaye, S. A., Senserrick, T., & Oviedo-Trespalacios, O. (2023). Exploring the factors influencing acquisition and learning experiences of cars fitted with advanced driver assistance systems (ADAS). *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.02.006>
- Navet, N., & Simonot-Lion, F. (2017). Automotive embedded systems handbook. In *Automotive Embedded Systems Handbook*. <https://doi.org/10.1201/9780849380273>
- Orlovska, J., Novakazi, F., Lars-Ola, B., Karlsson, M. A., Wickman, C., & Söderberg, R. (2020). Effects of the driving context on the usage of Automated Driver Assistance Systems (ADAS) -Naturalistic Driving Study for ADAS evaluation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100093>
- Pecht, M., Ramakrishnan, A., Fazio, J., & Nash, C. E. (2005). The role of the U.S national highway traffic safety administration in automotive electronics reliability and safety assessment. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 28(3). <https://doi.org/10.1109/TCAPT.2005.851597>
- Pérez Rastelli, J. M., Pedro Lucio, M. T. de, & Santos Peña, M. (2012). Agentes de control de vehículos autónomos en entornos urbanos y autovías [. *Information Processing in Agriculture*, March 2012.
- Perumal, P. S., Sujasree, M., Chavhan, S., Gupta, D., Mukthineni, V., Shingekar, S. R., Khanna, A., & Fortino, G. (2021). An insight into crash avoidance and overtaking advice systems for Autonomous Vehicles: A review, challenges and solutions. In *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (Vol. 104). <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104406>
- Quinchimbla, Q. P. F., & Solís, S. S. J. (2017, 10 enero). Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano De Quito. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17000?mode=full>
- Ranney, T., Mazzae, E., Garrott, R., & Goodman, M. (2000). NHTSA driver distraction research: Past, present, and future. *USDOT, National Highway Traffic Safety Administration*.
- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034, Pub. L. No. 034 (2016).

- SAE International. (2019). J3194: Taxonomy and Classification of Powered Micromobility Vehicles - SAE International. In *Surface Vehicle Recommended Practice*.
- Sernauto. (2023). *Los sistemas ADAS, clave para alcanzar los objetivos de seguridad vial fijados para 2030*. <https://www.sernauto.es/blog/los-sistemas-adas-contribuiran-decisivamente-en-la-reduccion-del-50-de-muertes-en-carretera-fijados-en-los-ods-2030/>.
- Sternlund, S. (2021). The safety potential of enhanced lateral vehicle positioning. *Traffic Injury Prevention*, 22(2). <https://doi.org/10.1080/15389588.2020.1869224>
- Sun, X., Liu, W., Wen, M., Wu, Y., Li, H., Huang, J., Hu, C., & Huang, Z. (2021). A real-time optimal car-following power management strategy for hybrid electric vehicles with acc systems. *Energies*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/en14123438>
- Szolga, L. A., Bozga, D. A., & Florea, C. (2022). End-User Skin Analysis (Moles) through Image Acquisition and Processing System. *Sensors*, 22(3), 1123. <https://doi.org/10.3390/s22031123>
- Taie, M. A., Moawad, E. M., Diab, M., & ElHelw, M. (2016). Remote Diagnosis, Maintenance and Prognosis for Advanced Driver Assistance Systems Using Machine Learning Algorithms. *SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems*, 9(1). <https://doi.org/10.4271/2016-01-0076>
- Tan, H., Zhao, F., Hao, H., & Liu, Z. (2020). Estimate of safety impact of lane keeping assistant system on fatalities and injuries reduction for China: Scenarios through 2030. *Traffic Injury Prevention*, 21(2). <https://doi.org/10.1080/15389588.2020.1711518>
- The MITRE corporation. (2025). *A Study on Real-world Effectiveness of Model Year 2015–2023 Advanced Driver Assistance Systems* (Vols. 25–0114).
- Tkachenko, P., Certad, N., Singer, G., Olaverri-Monreal, C., & Del Re, L. (2022). The JKU DORA Traffic Dataset. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3203188>
- UNECE. (2022). World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29): How it works - How to join it. In *World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29)*.
- Union, E. (2019). Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*.

- Utriainen, R., Pollanen, M., & Liimatainen, H. (2020). The Safety Potential of Lane Keeping Assistance and Possible Actions to Improve the Potential. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 5(4). <https://doi.org/10.1109/TIV.2020.2991962>
- Wood, J. M., Henry, E., Kaye, S. A., Black, A. A., Glaser, S., Anstey, K. J., & Rakotonirainy, A. (2024). Exploring perceptions of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) in older drivers with age-related declines. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.12.006>
- Xu, Y., Ye, Z., & Wang, C. (2021). Modeling commercial vehicle drivers' acceptance of advanced driving assistance system (ADAS). *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, 4(3). <https://doi.org/10.1108/JICV-07-2021-0011>
- Ziebinski, A., Cupek, R., Grzechca, D., & Chruszczyk, L. (2017). Review of advanced driver assistance systems (ADAS). *AIP Conference Proceedings*, 1906. <https://doi.org/10.1063/1.5012394>

## Anexos

### Anexo A – Ficha Técnica Vehículo 2

Seguridad	
Airbags frontales	•
Airbags laterales frontales	•
Airbag de cortina lateral	•
Cinturones de seguridad delanteros pretensados con limitación de fuerza	Limitación de fuerza de preapriete
Recordatorio de cinturones de seguridad	Todo el carro
Cinturón de seguridad de tres puntos para el asiento central de la segunda fila	Bloqueo de emergencia
Cinturones de seguridad con bloqueo de emergencia para los asientos izquierdo y derecho de la segunda fila	Limitación de fuerza de preapriete
TPMS (Sistema de control de presión de neumáticos)	Calentamiento de la presión de los neumáticos
ISOFIX	•
Alarma antirrobo	•
Recordatorio de puerta abierta	•
Sistema de cierre de puertas centralizado	•
Seguro para niños en puerta trasera	Mecánico
Cerradura de puerta automática con sensor de velocidad	•
Desbloqueo automático de puertas después de una colisión	•
ABS (sistema de frenos antibloqueo)	•
EBD (Distribución electrónica de la fuerza de frenado)	•
DBF (fuerza de frenado dinámica)	•
HBA (asistencia de frenado hidráulico)	•
TCS (Sistema de control de tracción)	•
ESC (control electrónico de estabilidad)	•
HSA (asistencia de arranque en pendiente)	•
Auto Hold	•
HDC (control de descenso de pendientes)	•
ARP (Protección activa contra vuelcos)	•
Freno multicollisión (MCB)	•

Exterior	
Sunroof panorámico	•
Parasol eléctrico	•
Faros LED	Haz lejano y cercano integrado
Luces de posición LED integradas delanteras	•
Faros con altura regulable	•
Faros automáticos	•
Faros con función sígueme a casa	•
Luces traseras LED	•
Luz de freno LED elevada de montaje alto	•
Función de espejo exterior	Ajustable eléctricamente, calefacción, memoria e inclinación hacia abajo en reversa, plegado automático cuando se bloquea el automóvil
Luces LED de señal de giro de retrovisor	•
Limpiaparabrisas delanteros flexibles con sensor de lluvia	•
Parabrisas trasero calefactable	•
Limpiaparabrisas trasero	•
Manija de puerta oculta abatible manual	•
Ventanas eléctricas delanteros y traseros	•
Apertura y cierre de ventanas one-touch (función antipinzamiento)	Full
Ventanas con función antipinzamiento	Full
Vidrio frontal laminado acústico	Frente
Antena de aleta de tiburón	•
Puerta trasera con memoria de posición y función antipinzamiento	•

FICHA TÉCNICA

Interior	
Volante multifunción de cuero	•
Volante multifuncional	•
Volante ajustable manualmente en 4 direcciones	Arriba y abajo / adelante y atrás
Asientos	Cuero
Reposacabezas delanteros integrado	Removible
Ajuste eléctrico de 6 posiciones del conductor	Arriba y abajo / adelante y atrás / ajuste de altura
Ajuste eléctrico de 4 posiciones del copiloto	Adelante y atrás / ajuste de altura
Asiento delantero con ajuste eléctrico	•
Asiento del conductor con memorias y función de bienvenida	•
Segunda fila con asientos ajustables	•
Segunda fila plegable 4/6 (mecánica)	•
Reposabrazos central segunda fila	•
Apoyabrazos central segunda fila con portavasos	•
Espejo retrovisor interior antideslumbrante	Manual
Parasoles para conductor y pasajero con espejos de maquillaje (con Luz)	Asiento conductor y pasajero
Lampara para leer	Primera y segunda fila
Techo interior de tela	•
Iluminación del maletero	•
Climatizador automático de doble zona	•
Salida climática de segunda fila	•
Filtro compuesto de alta eficiencia	•
Toma de AC oculta	•
Grabación de video de conducción	•
Tipo llave	NFC+ Bluetooth y mecánico 1
Cargador de dispositivo móvil wireless	Frontal* (115W)
Interfaz USB frontal	USB-A* (112W DATA) TYPE-C* (160W DATA)
Puerto TIPO-C de la fila trasera	TYPE-A* (112W) TYPE-C* (115W)

Fuente de alimentación de 12V	Frontal
Función de descarga externa V2L	•
Freno de confort	•
Sistema inteligente Leapmotor OS	
Idioma	Español / Inglés
Panel de instrumentos LCD	10,25
Pantalla LCD de control central touch	14.6 (2.5K)
CPU	SA8295P
Encendido con reconocimiento facial	•
Face ID y sistema de configuración adaptativo	•
Sistema de control de reconocimiento de voz	•
Comando electrónico de voz	•
Fuente de audio independiente para la pantalla táctil del pasajero delantero	Zona dual que incluye asiento trasero
Asistente de voz Leap AI	•
Sistema de control de voz inteligente visible y hablable	•
APP store	•
Control de aplicaciones móviles	•
Modo de descanso	•
Modo guardián	•
Modo centinela	•
Modo de acampada	•
Teléfono bluetooth para coche	•
Red 4G	4G
Música en línea y FM	•
Duplicación de pantalla	Carlink
Sistema de audio amplificado con potencia digital DSP	•
Parlantes	12
Control inteligente del hogar	•
Actualizaciones OTA	•
Actualizaciones OTA móviles	•

FICHA TÉCNICA

## Anexo B – Ficha Técnica Vehículo 1

Modelo	410 Km GL	480 Km GS	Modelo	410 Km GL	480 Km GS	Modelo	410 Km GL	480 Km GS
<b>Parámetros Básicos</b>			<b>Modelo</b>			<b>Modelo</b>		
Largo (mm)		4455	Sistema de dirección asistida eléctrica (C-EPS)	*	*	Multi-media		
Ancho (mm)		1875	Columna de dirección con ajuste manual en 4 direcciones	*	*	Radio FM / Spotify / navegador/	*	*
Altura (mm)		1615	Freno de estacionamiento eléctrico (EPB)	*	*	Pantalla multimedia giratoria eléctrica (12,8 pulgadas)	*	*
Distancia entre ejes (mm)		2720	Retención automática del vehículo - Auto Hold (AWH)	*	*	6 altavoces	*	-
Anchura entre ejes delantera (mm)		1575	Asistente de dirección (Sport-Comfort)	*	*	8 altavoces DIRAC	-	*
Anchura entre ejes posterior (mm)		1580	Comandos por voz	*	*	Interfaz USB delantera (2)	*	*
Volumen de carga (l)		440	<b>Seguridad Pasiva</b>			Interfaz USB posterior (2)	*	*
Neumático	215/WR17	215/55R18	Bolsa de aire frontal del conductor	*	*	<b>Luces</b>		
<b>Potencia &amp; Rendimiento</b>			Bolsa de aire del copiloto	*	*	Regulación de la altura de los faros LED delanteros	*	*
Tipo de motor: eléctrico	Sincronizado permanente		Bolsas de aire laterales delanteras	*	*	Faros delanteros con encendido automático	*	*
Potencia máxima (HP)	201		Cortina de aire lateral delantera	-	*	Sistema inteligente de luces altas y bajas	-	*
Torque máximo (N m)	310		Cinturones de seguridad con limitador de fuerza precargados en la fila delantera	-	*	Luces de circulación diurna (LED)	*	*
Capacidad nominal de la batería (kWh)	49.92	60.48	Cinturones de seguridad con limitador de fuerza precargados en la fila posterior	-	*	Luces posteriores combinadas (LED)	*	*
Autonomía NEDC (km)	410	480	<b>Seguridad Activa</b>			Luces de pie de la primera fila	-	*
Tiempo de carga	22 minutos (0-80% de carga X)		Recordatorio del cinturón de seguridad del conductor	*	*	Luz de la caja de almacenamiento	-	*
Aceleración de 0-100km/h (s)	7.3		Recordatorio del cinturón de seguridad del copiloto	*	*	Lámpara del maletero	*	*
<b>Frenado y Suspensión</b>			Recordatorio del cinturón de seguridad de la fila posterior	-	*	Luces interiores delanteras (LED)	*	*
Freno frontal	Disco ventilado		Imagen panorámica	-	*	Luz interior posterior (LED)	*	-
Freno posterior	Disco sólido		Imagen de reversa	*	-	Luces interiores laterales posteriores (LED)	-	*
Suspensión delantera	McPherson		Detección de punto ciego (BSD)	-	*	Luz ambiental interior monocromática	*	-
Suspensión posterior	Multi-link		Sistema de frenos antibloqueo (ABS)	*	*	Luz ambiental interior multicolor	-	*
<b>Tren Motoriz</b>			Programa electrónico de estabilidad (ESP)	*	*	<b>Ventanas / Espejos</b>		
Tracción delantera	*	*	Freno de potencia integrado (IPB)	*	*	Limpiaaparabrisas sin marco	*	*
Batería Blade (LFP) Lilo Ferro Fosfato	*	*	Sistema de control de tracción (TCS)	*	*	Limpiaaparabrisas posterior	*	*
<b>Nueva Energía</b>			Distribución electrónica de la fuerza de frenado (EBD)	*	*	Parabrisas y luna posterior con desempañado y descongelado de calefacción eléctrica	*	*
Carga estándar AC 7kW	*	*	Función de frenado Comfort - Sport (CST)	*	*	Elevavidrios eléctricos, 2 posiciones en las 4 ventanas con protección contra atascos	*	*
Carga estándar DC 70kW	*	-	Control de descenso de pendientes (HDC)	*	*	Espejo retrovisor exterior con desempañador eléctrico	*	*
Carga estándar DC 80kW	-	*	Control de cruceo (CC)	*	-	Espejo retrovisor exterior plegado eléctrico	*	*
Vehículo a cargas (V2L)	*	*	Control de velocidad cruceo adaptativo (ACC)	-	*	Focos para espejos retrovisores exteriores	-	*
<b>Exterior</b>			Reconocimiento de señales de tráfico (TSR)	-	*	Espejo retrovisor interior antideslumbrante manual	*	*
Cuerpo de un solo color	*	*	Frenado automático de emergencia (AEB)	-	*	Espejo retrovisor interior antideslumbrante automático	-	*
Sunroof panorámico	-	*	Advertencia de cambio de carril (LDW)	-	*	<b>Aire acondicionado (climatizador)</b>		
Apertura y cierre de sunroof con un solo botón anti-pelelizo	-	*	Asistente de mantenimiento de carril (LKA)	-	*	Aire acondicionado automático	*	*
Desbloqueo de seguro de compuerta	*	*	Radares de marcha adelante (2 delanteros)	-	*	Salida de aire inferior debajo para asientos posteriores	*	*
Apertura de compuerta eléctrica	-	-	Radares de marcha atrás (4 posteriores)	*	*	Salida de aire posterior hacia la cara	*	*
Neumático de 17 pulgadas	*	-	Sistema de control directo de la presión de los neumáticos	*	*	Filtro de alta eficiencia PM2.5 (CN95+ sin pantalla PM2.5)	*	*
Neumático de 18 pulgadas	-	*	Bloqueo mecánico de seguridad para niños	*	*	Sistema de purificación de aire (PM 2.5)	-	*
<b>Interior</b>			<b>Asientos</b>			<b>Nota:</b> * - No disponible, * - Disponible		
Color interior azul y gris	*	*	Asientos de cuero sintético	*	*			
Volante de cuero sintético	*	*	Ajuste eléctrico de 6 posiciones del asiento del conductor	*	*			
Interruptor de control de cruceo	*	-	Ajuste manual de 4 posiciones del asiento del copiloto	*	*			
Interruptor de control de cruceo adaptativo	-	*	Asientos posteriores abatibles 4:6	*	*			
Instrumento combinado TFT LCD de 5 pulgadas	*	*	Reposacabezas central de la fila posterior	*	*			
Carga inalámbrica de teléfonos móviles	*	*	<b>Especificaciones actualizadas: Mayo de 2023</b>					
Visera solar con espejo y luz para conductor & copiloto	*	*	① La autonomía real variará en función de los hábitos de conducción/carga, la velocidad, el clima, la temperatura y el envejecimiento de la batería. La capacidad de la batería es la capacidad inicial. Disminuirá con el tiempo y el uso. La edad de la batería y la temperatura ambiental exterior influyen en el tiempo de carga.					
Cortina de techo corredizo panorámico	-	*	② Las especificaciones anteriores son para el vehículo estándar y están sujetas a las necesidades y regulaciones regionales. Es posible que algunas opciones no estén disponibles en su país o región. Todas las especificaciones técnicas están sujetas a cambios sin previo aviso. Visite el concesionario de BYD para más detalles.					
Techo de tela tejida	*	*	③ BYD le recuerda que debe usar el cinturón de seguridad, asegurar a los niños en el asiento posterior, obedecer todas las normas de tráfico y conducir de manera responsable.					
Reposacabezas central en la fila posterior (con dos portavasos)	*	*	④ Todas las imágenes que se muestran son sólo para el fin de ilustración.					
Portaequipajes	*	*	⑤ BYD se reserva el derecho de la interpretación final.					
Toma corrientes del vehículo de 12V	*	*						
<b>Control</b>								
Encendido remoto	*	*						
Entrada sin llave	*	*						
Arranque sin llave	*	*						

## Anexo C – Definición de Ruta

### 3.3.2. Definición de ruta combinado C1

Para definir las rutas para ciclo combinado representativas del D.M.Q. se utiliza la información proporcionada por las figuras 2.5 hasta la figura 2.10, las cuales indican las vías con mayor flujo vehicular, a través de esta información se enlaza las vías hasta obtener una distancia acorde con lo establecido en el literal 3.3.1.1, obteniendo como resultado la ruta que inicia en el Sumpermaxi de Cumbayá (Cerca del Redondel Universidad San Francisco) para después continuar a través de Av. Interoceánica, Libertador Simón Bolívar, De los Granados, Eloy Alfaro, Río Coca, Shyris, 6 de diciembre, Francisco de Orellana, Coruña, 12 de Octubre y finaliza en la Universidad Católica (intersección Av. 12 de Octubre y Jorge Washington); recorriendo una distancia de 9990 m de parte Suburbana y 8100 m de parte urbana, con una longitud total de 18090 m. En la figura 3.22 se puede apreciar la ruta C1

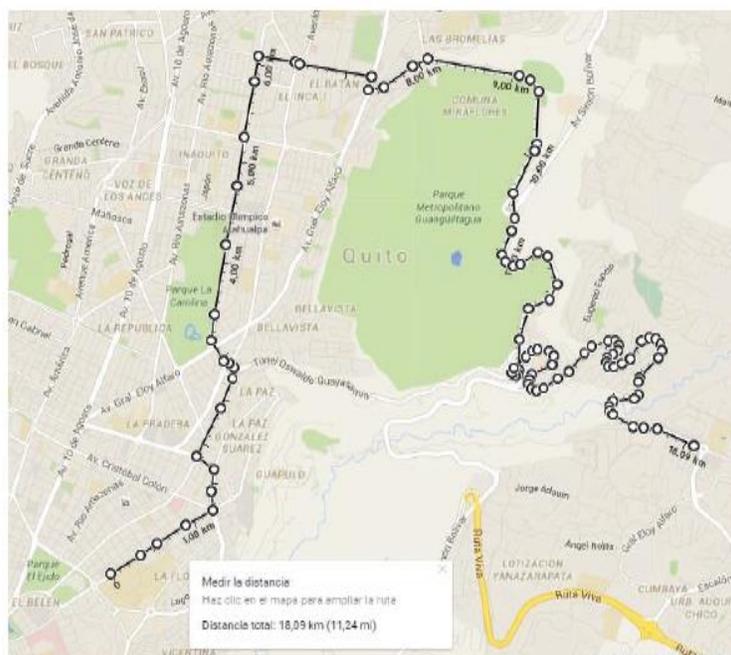


Figura 3.22. Ruta Ciclo Combinado C1  
(Fuente: Google Maps, 2016)

### 3.3.2.1. Perfil de elevación de la ruta C1

Conforme lo muestra el perfil de elevación de la presente ruta, figura 3.23, se puede establecer que el punto más alto de elevación está ubicado en la Av. Libertador Simón Bolívar (altura del Camposanto Monteolivo, 2870 m), mientras que el punto con menos altura está en la Av. Interoceánica (altura del Supermaxi de Cumbayá, 2399 m; este

70

último está ubicado en el inicio del recorrido y el menor valor de altura es debido a que se encuentra al ingreso del Valle de Tumbaco.

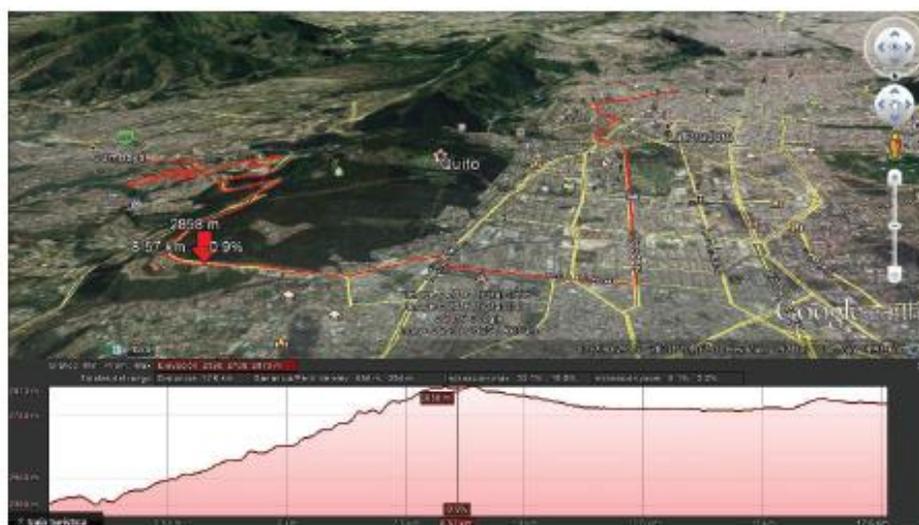


Figura 3.23. Perfil de elevación de la Ruta C1  
(Fuente: Google Earth, 2016)

Los datos obtenidos a través del software Google Earth, se puede distribuir la longitud de la ruta de la siguiente manera: el 47% del total del recorrido es plano o con pendientes menores a grado 3, el 10% contiene pendientes de grado 4, el 26% contiene pendientes de grado 6, el 12% contiene pendientes de grado -4, el 5% contiene pendientes de grado -6 tal como se muestra en la figura 3.24

## Anexo D – Prueba de Ruta Vehículo 1



**Anexo E – Prueba On Board de Asistente de Mantenimiento y Cambio de Carril Vehículo**

1



**Anexo F – Prueba On Board de Control de Crucero Adaptativo Vehículo 1**

## Anexo G – Toma de datos vehículo 1

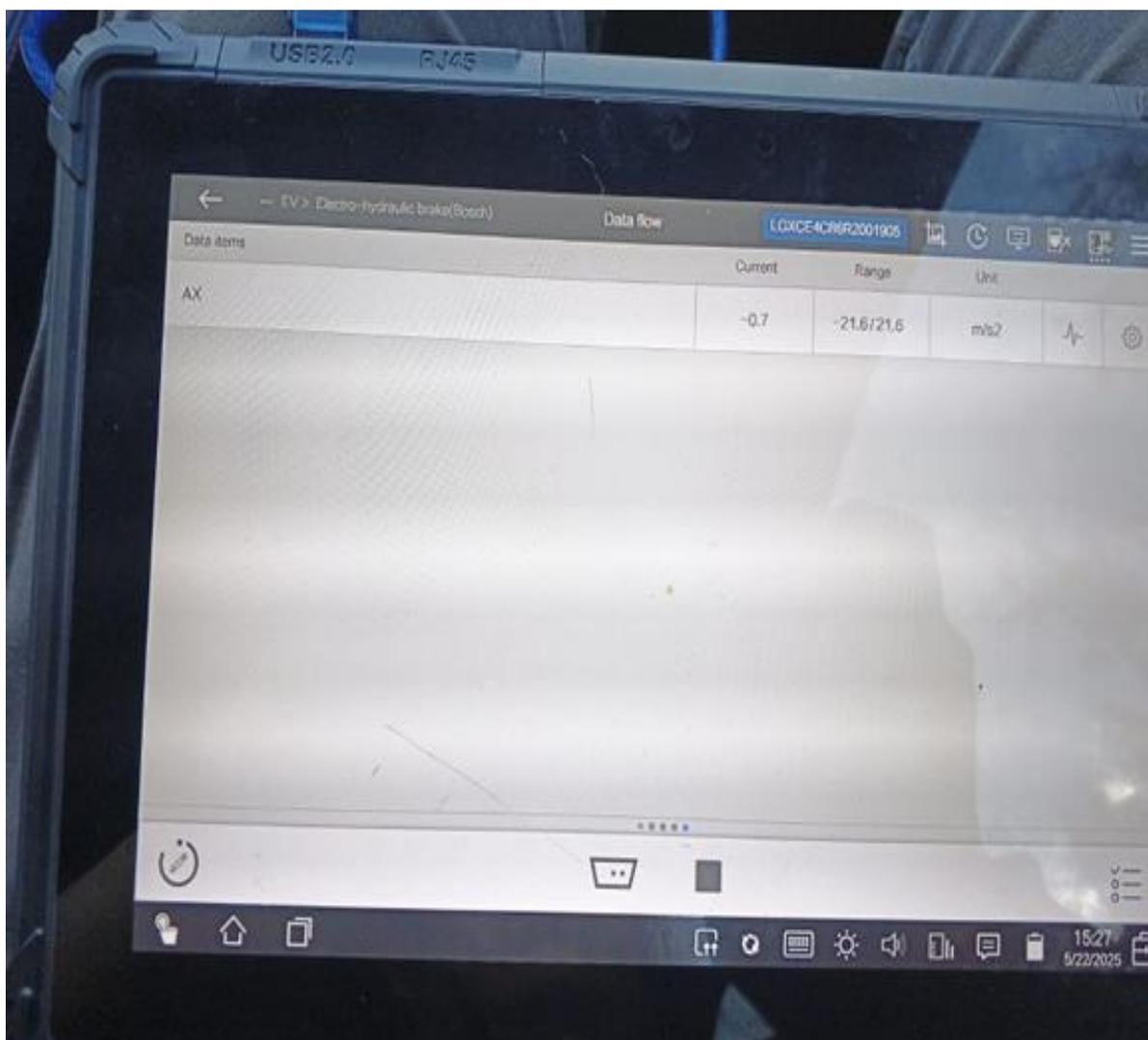
USB2.0 BMS

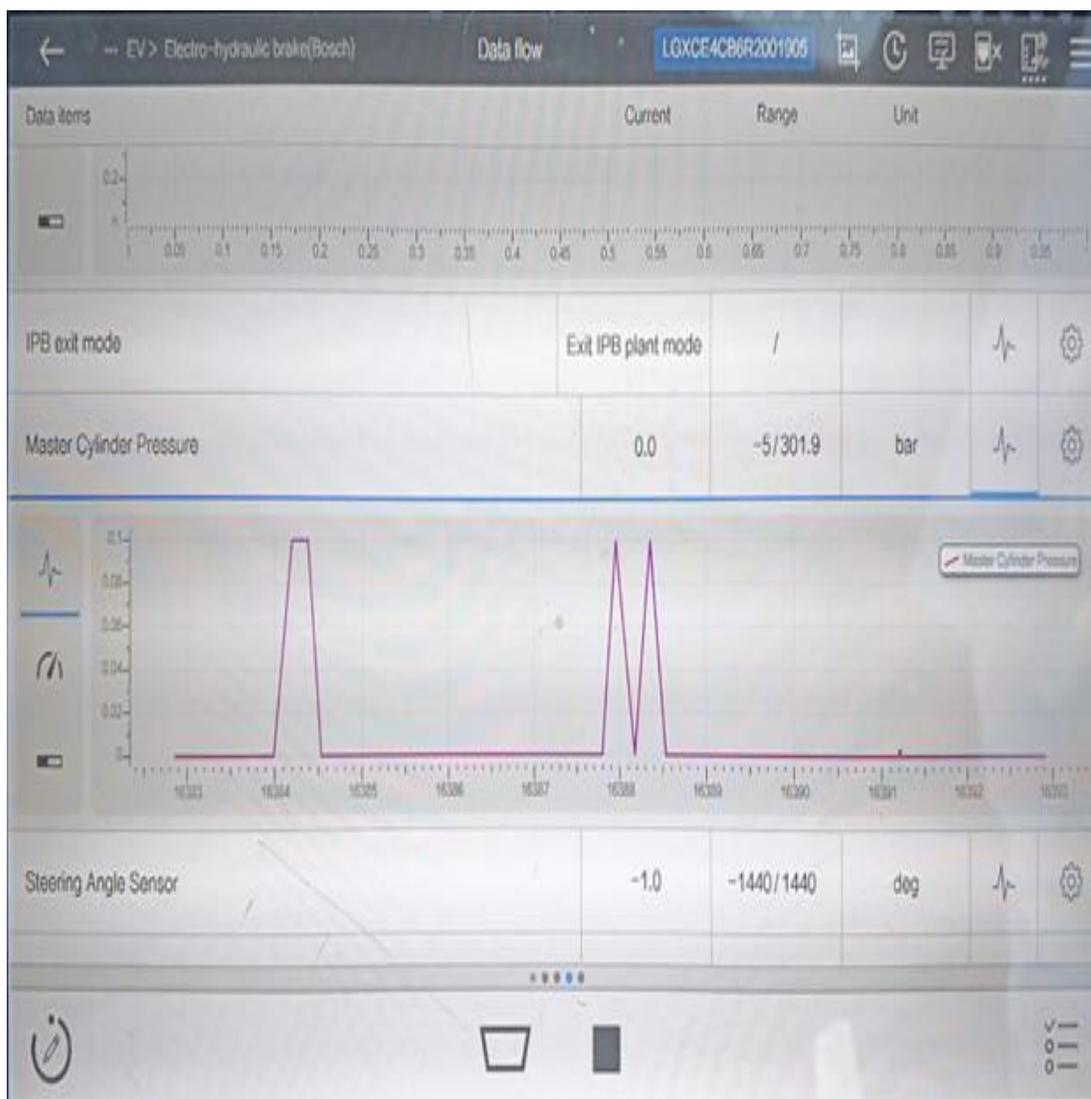
EV > Electro-hydraulic brake(lived) Data flow LOXCFA086F2001306

Data items	Current	Range	Unit
Front left wheel speed	86	0/440	km/h
Front right wheel speed	86	0/440	km/h
Rear left wheel speed	87	0/440	km/h
Rear right wheel speed	86	0/440	km/h
URV voltage	13.68	0/20.4	V
ECU voltage	13.76	0/20.4	V
Actual pressure	0.00000	-5/301.9	bar
Simulator pressure	0.00000	-5/301.9	bar

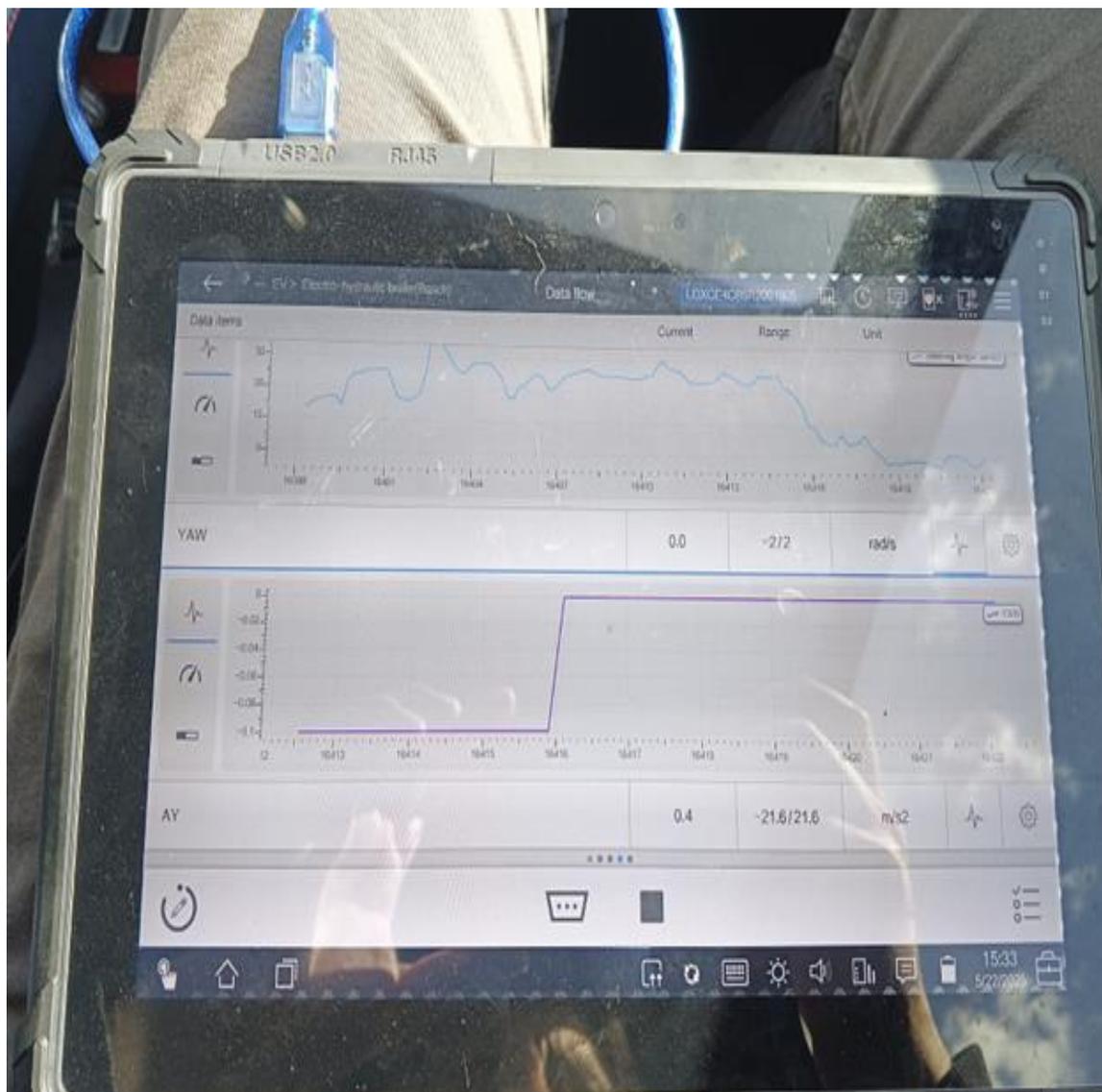
15:27 5/22/2025

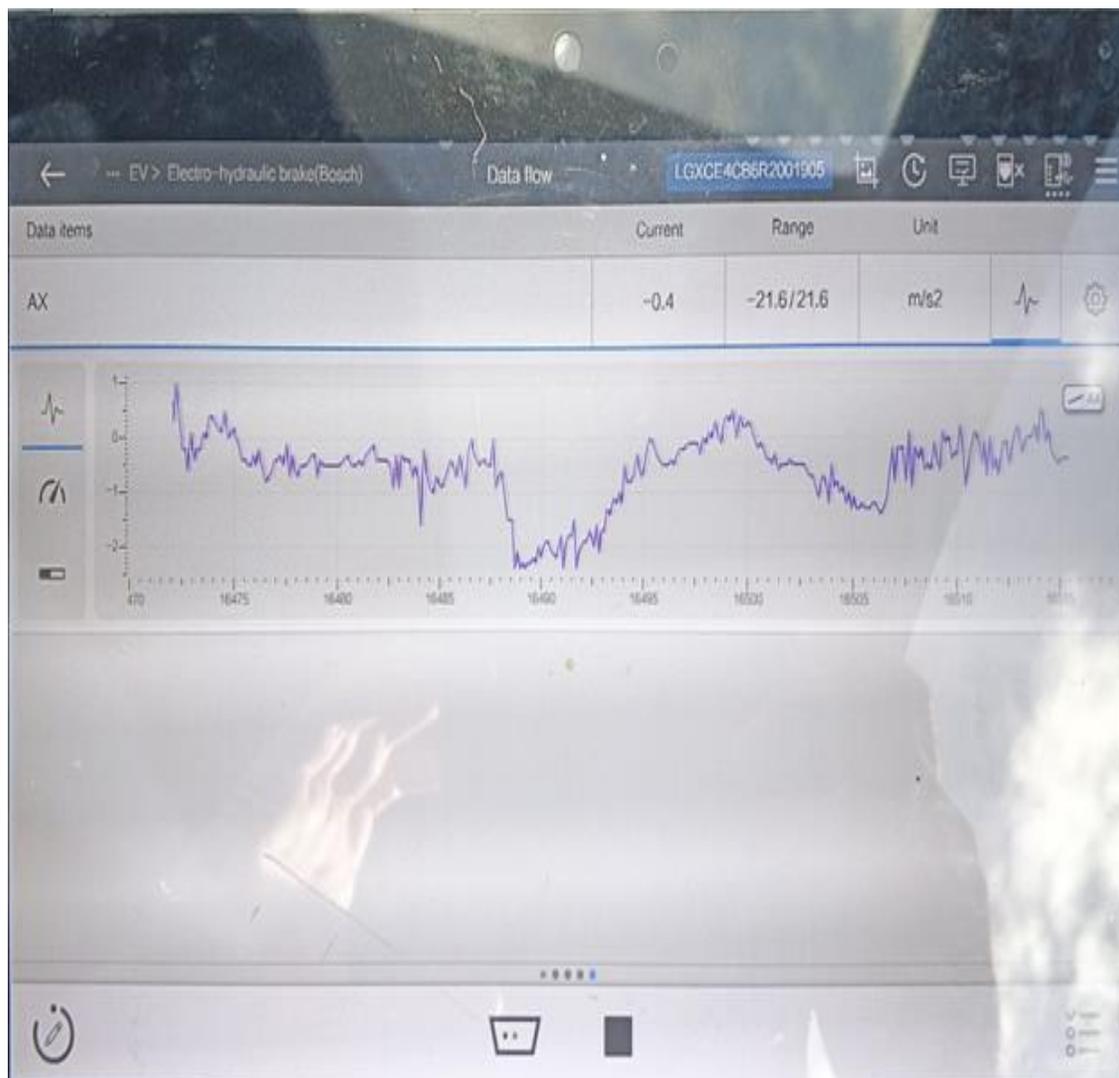
Data items	Current	Range	Unit
EOL detection status	Final line test completed and correct	/	
Disable speed limit detection	Speed limit detection activated	/	
Configuration word	11 56 01 F7 08 01 00 3D	/	
IPB exit mode	Exit IPB plant mode	/	
Master Cylinder Pressure	0.1	-5/301.9	bar
Steering Angle Sensor	-26.9	-1440/1440	deg
YAW	0.1	-2/2	rad/s
AY	1.6	-21.6/21.6	m/s <sup>2</sup>

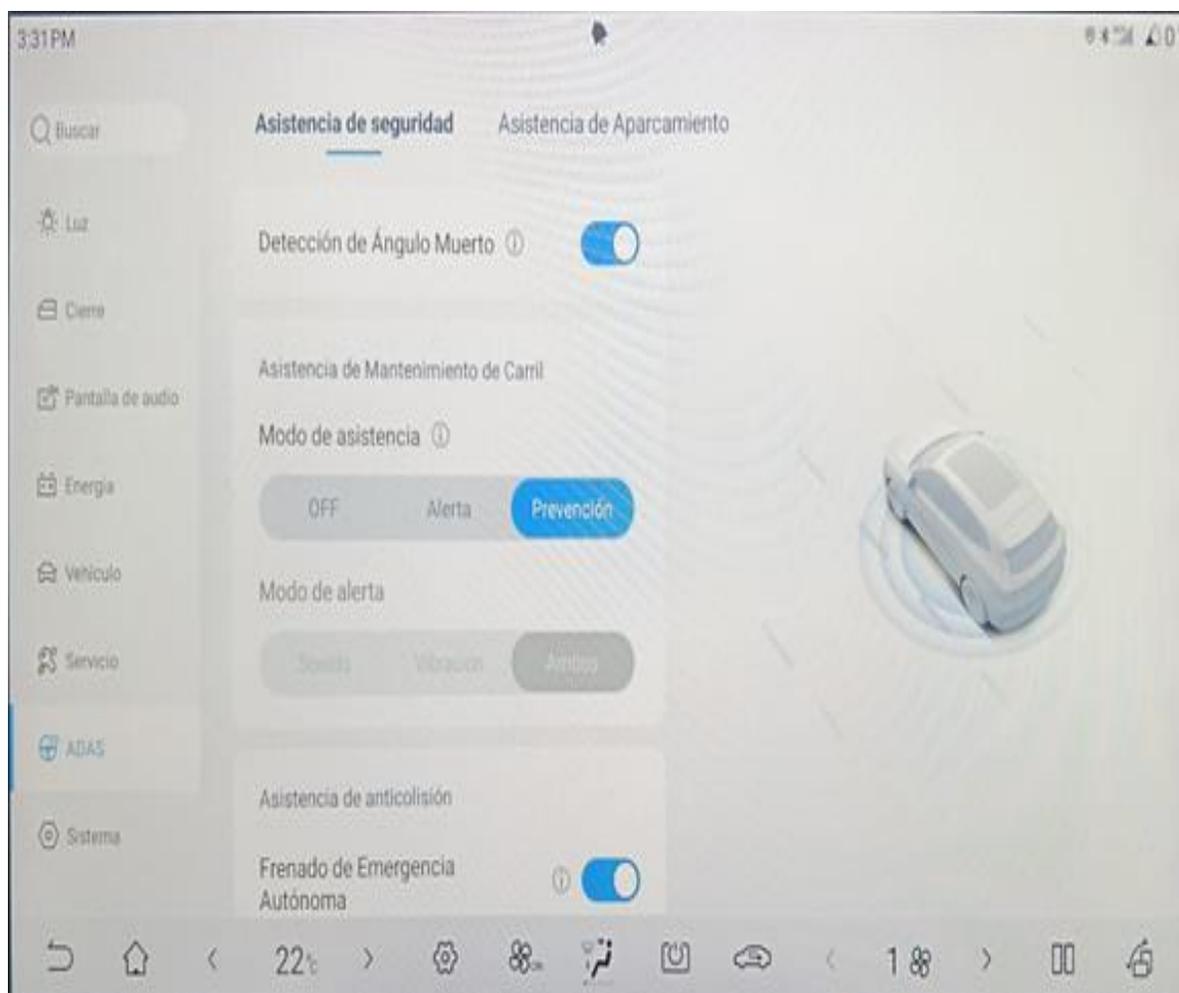


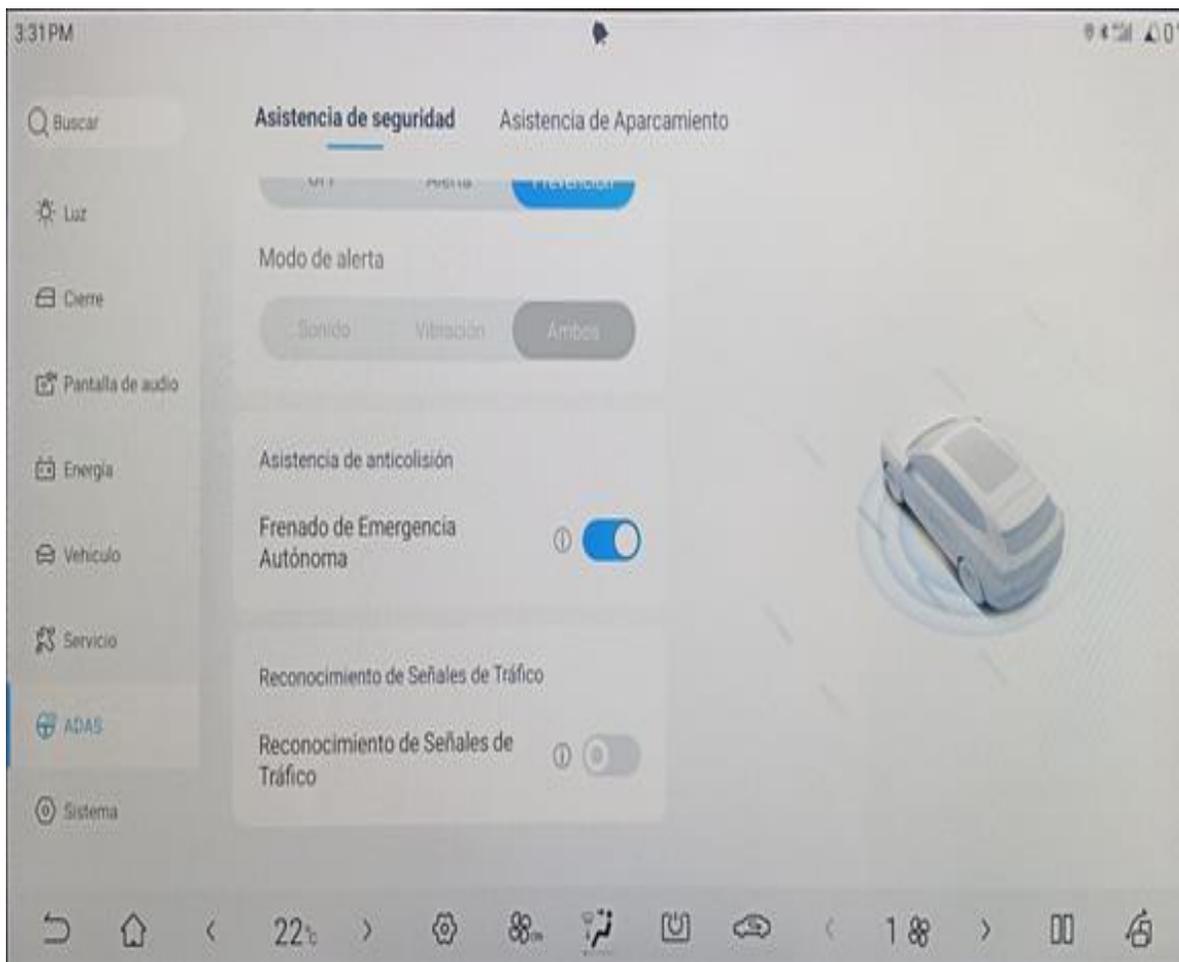








**Anexo H – ADAS encontrados abordo del vehículo 1**



**Anexo I – Prueba de ruta Vehículo 2**





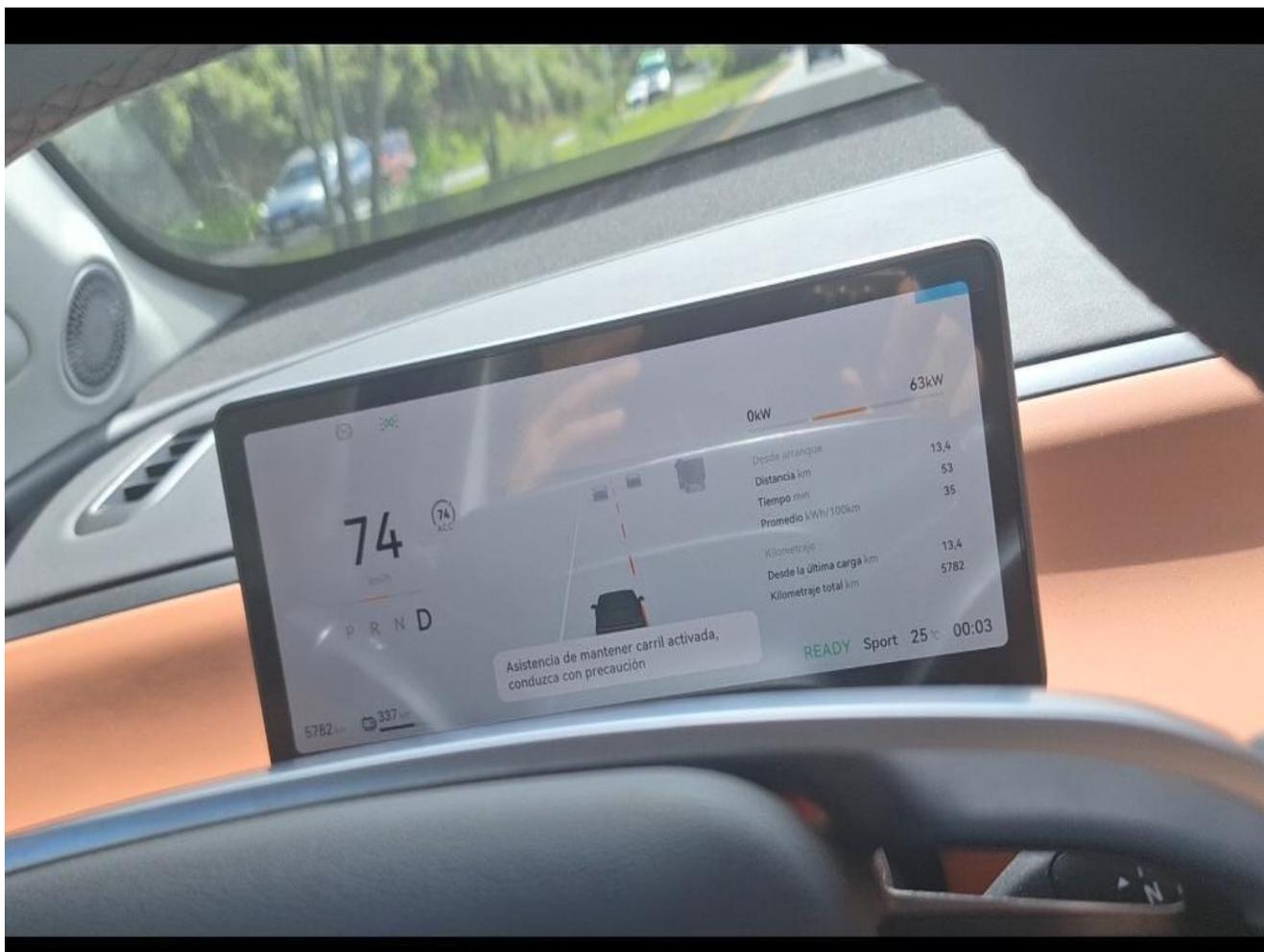


## Anexo J – Prueba On Board de Control de Crucero Adaptativo Vehículo 2

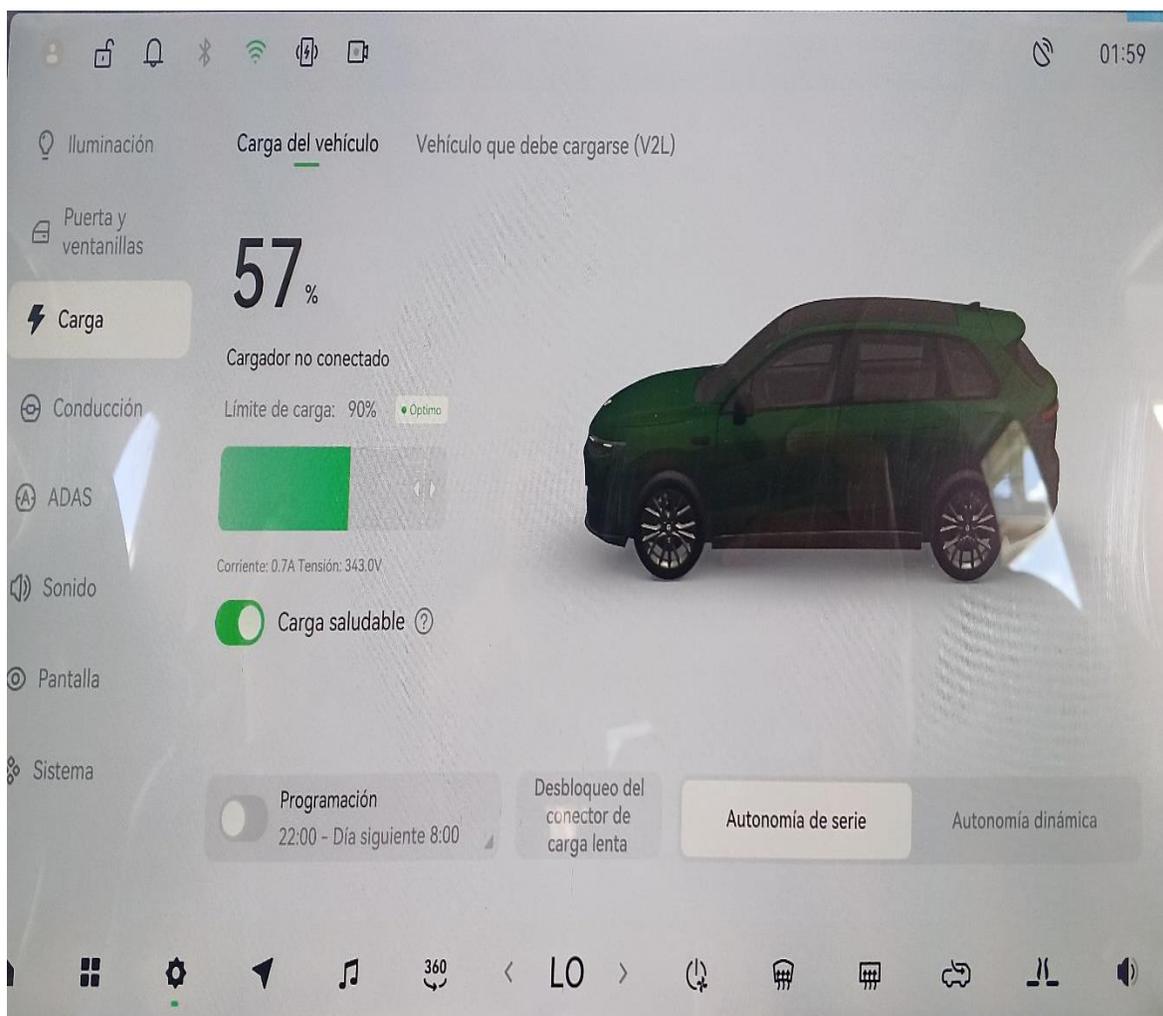


**Anexo K – Prueba On Board de Asistente de Mantenimiento y Cambio de Carril Vehículo**

2



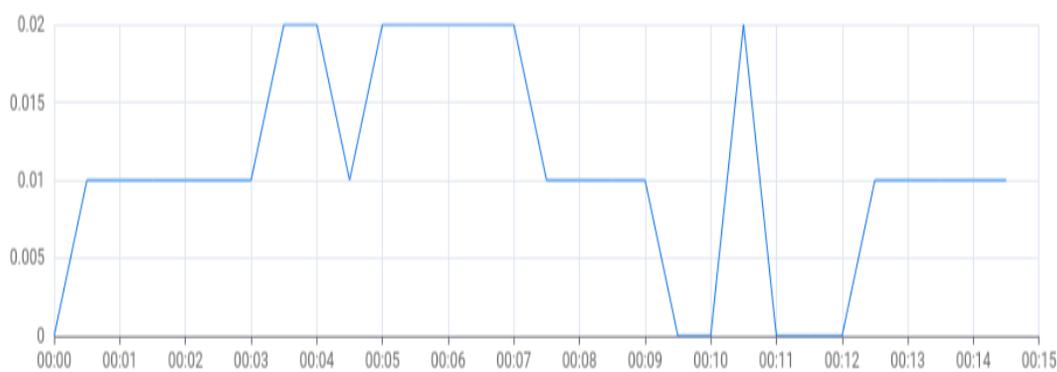
## Anexo L – Toma de datos vehículo 2





Name 	Value	Range	Unit
<input type="checkbox"/>  Angular velocity sensor value	0.07	[-90, 90]	deg/s 
<input type="checkbox"/>  Lateral acceleration sensor value	0.01	[-1.27, 1.27]	g 

Min: 0 Max: 0.05



<input type="checkbox"/>  Longitudinal acceleration sensor value	-0.06	[-1.27, 1.27]	g 
<input type="checkbox"/>  Steering angle sensor value	340.77	[-1.27, 1.27]	deg 

2 / 64

Cancel Selected

Custom

Data recording

Pause



Name	Value	Range	Unit
<input type="checkbox"/> Lateral acceleration sensor value	0.02	[-1.27, 1.27]	g
<input type="checkbox"/> Longitudinal acceleration sensor value	-0.01	[-1.27, 1.27]	g

Min: -0.17 Max: 0.02



<input type="checkbox"/> Steering angle sensor value	338.49	[-1.27, 1.27]	deg
<input type="checkbox"/> Brake pressure sensor value	0.00	[0, 254]	bar

2 / 64

Cancel Selected

Custom

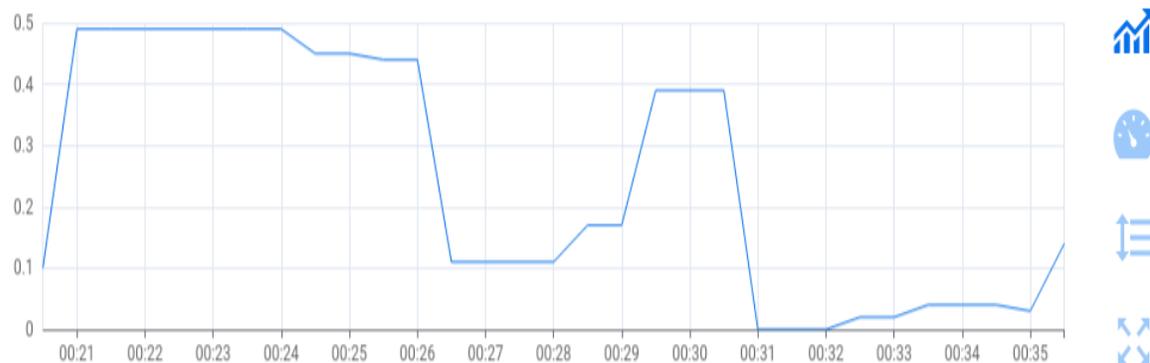
Data recording

Pause



Name	Value	Range	Unit
<input type="checkbox"/> Longitudinal acceleration sensor value	-0.15	[-1.27, 1.27]	g
<input type="checkbox"/> Steering angle sensor value	340.02	[-1.27, 1.27]	deg
<input type="checkbox"/> Brake pressure sensor value	0.14	[0, 254]	bar

Min: 0 Max: 0.49



Left front inlet valve

Not activated

2 / 64

Cancel Selected

Custom

Data recording

Pause



Name	Value	Range	Unit
<input type="checkbox"/> HAS (Hill Assist System)	Activation		
<input type="checkbox"/> ACC (Adaptive Cruise Control System)	Activation		
<input type="checkbox"/>  Angular velocity sensor value	-0.35	[-90, 90]	deg/s

Min: -6.31 Max: 1.9



 Lateral acceleration sensor value

0.01

[-1.27, 1.27]

g

2 / 64

Cancel Selected

Custom

Data recording

Pause



Name 	Value	Range	Unit
<input type="checkbox"/>  ECU temperature	38	[-70, 185]	deg C 
<input type="checkbox"/>  Rotor speed	0	[-13000, 13000]	1/min 
<input type="checkbox"/>  Rotor position	14.080	[0, 360]	Grad 
<input type="checkbox"/>  Internal power assist speed	28	[0, 255]	km/h 
<input type="checkbox"/>  Motor torque	0.00000	[-10, 10]	Nm 
<input type="checkbox"/>  Actual steering wheel angle	-1.1	[-900, 900]	
<input type="checkbox"/>  Steering wheel torque	0.152	[-8, 8]	
<input type="checkbox"/>  ESC speed	34	[0, 300]	km/h 

0 / 20

Cancel Selected

Custom

Data recording

Pause



Name 	Value	Range	Unit
<input type="checkbox"/>  Rotor speed	0	[-13000, 13000]	1/min 
<input type="checkbox"/>  Rotor position	15.488	[0, 360]	Grad 
<input type="checkbox"/>  Internal power assist speed	28	[0, 255]	km/h 
<input type="checkbox"/>  <b>Motor torque</b>	64.15962	[-10, 10]	Nm 
<input type="checkbox"/>  Actual steering wheel angle	-1.4	[-900, 900]	
<input type="checkbox"/>  Steering wheel torque	0.128	[-8, 8]	
<input type="checkbox"/>  ESC speed	40	[0, 300]	km/h 
<input type="checkbox"/>  Actual current value	0	[0, 254]	A 

0 / 20

Cancel Selected

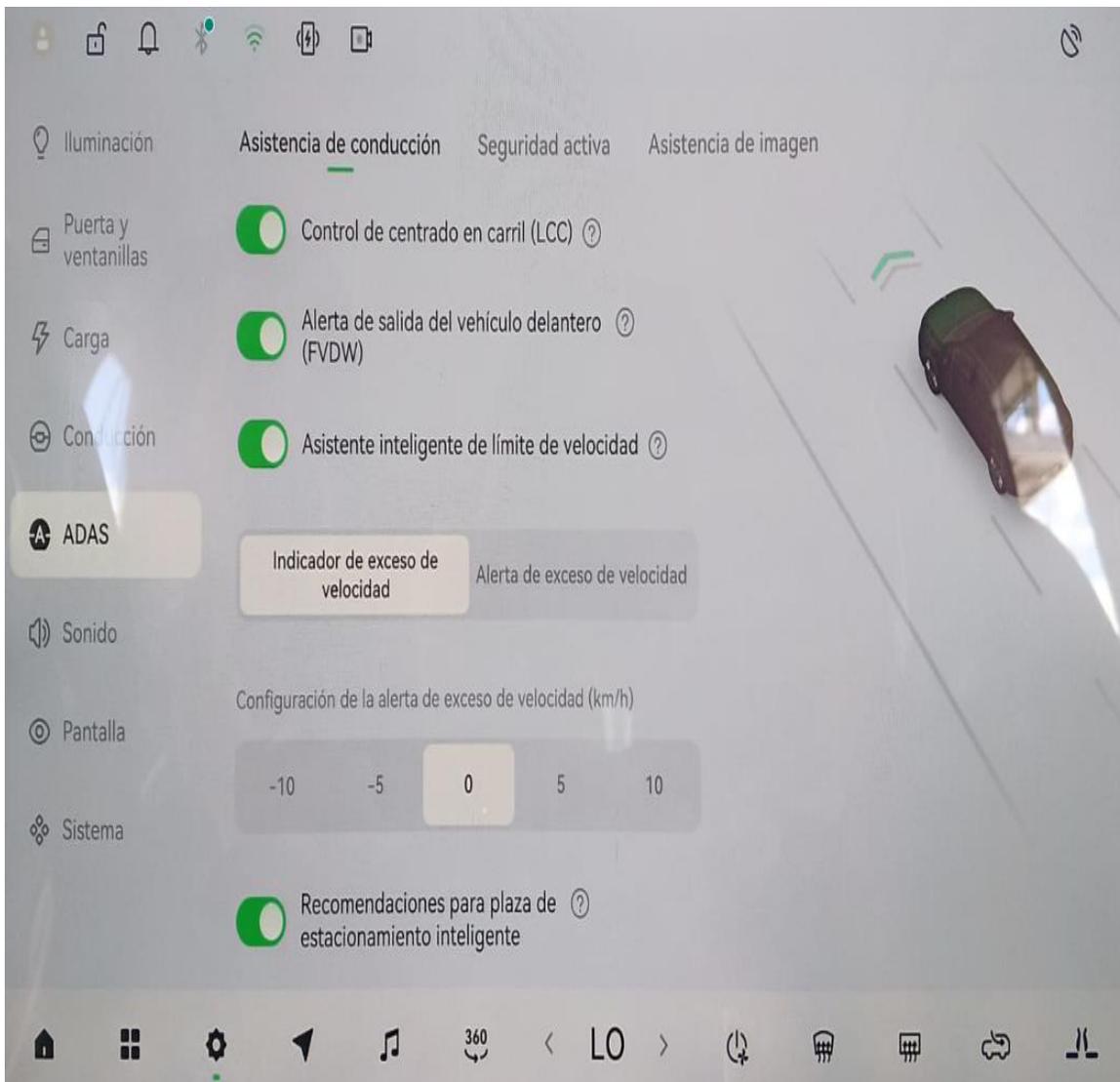
Custom

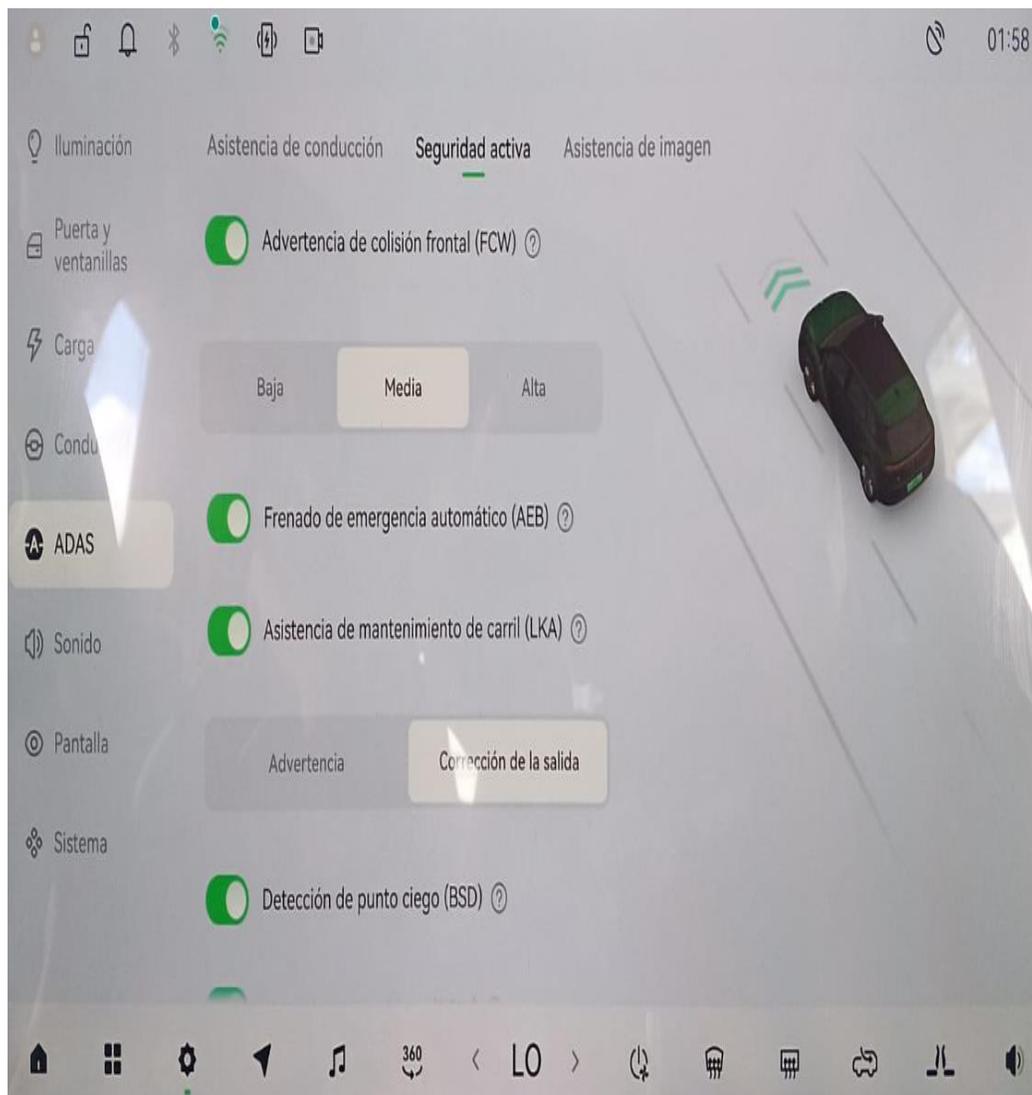
Data recording

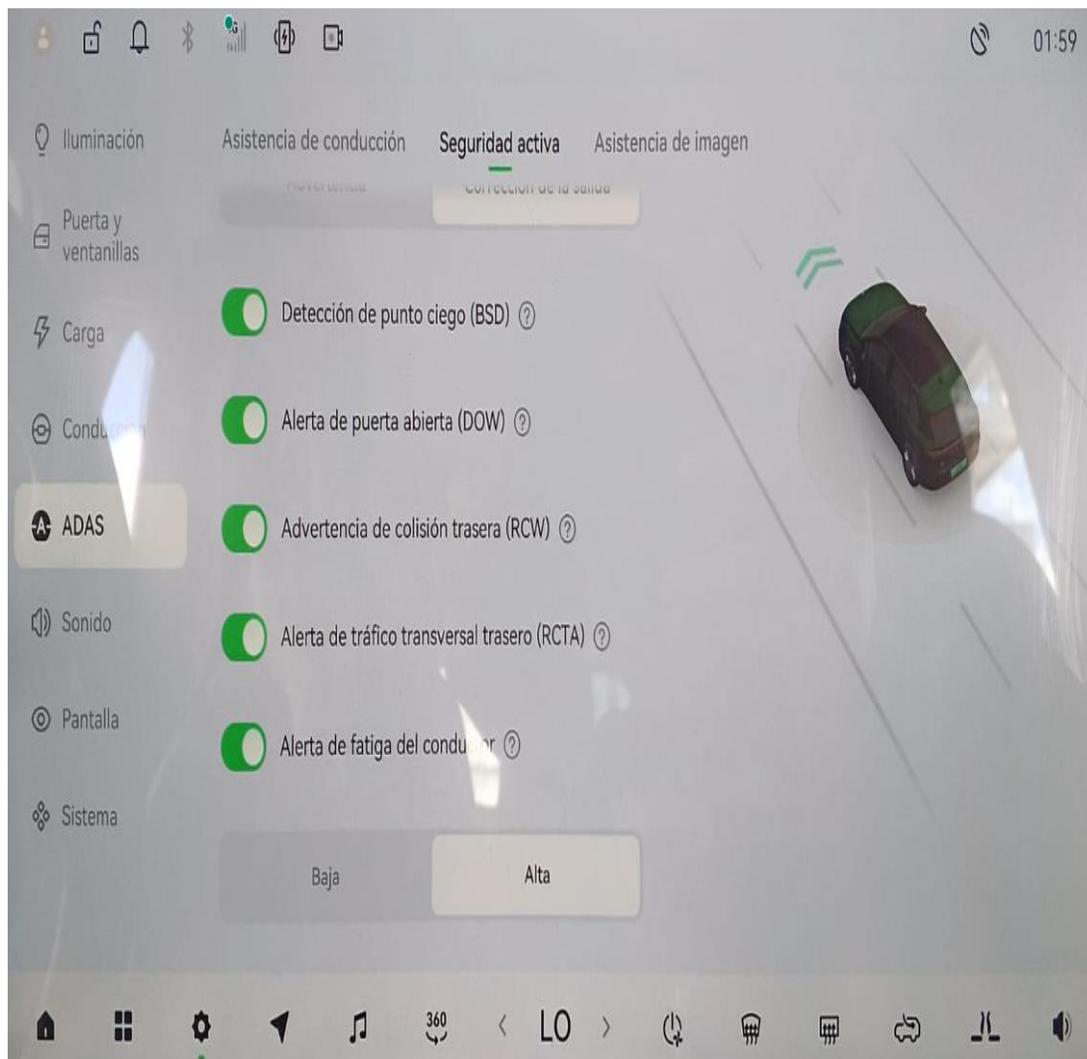
Pause

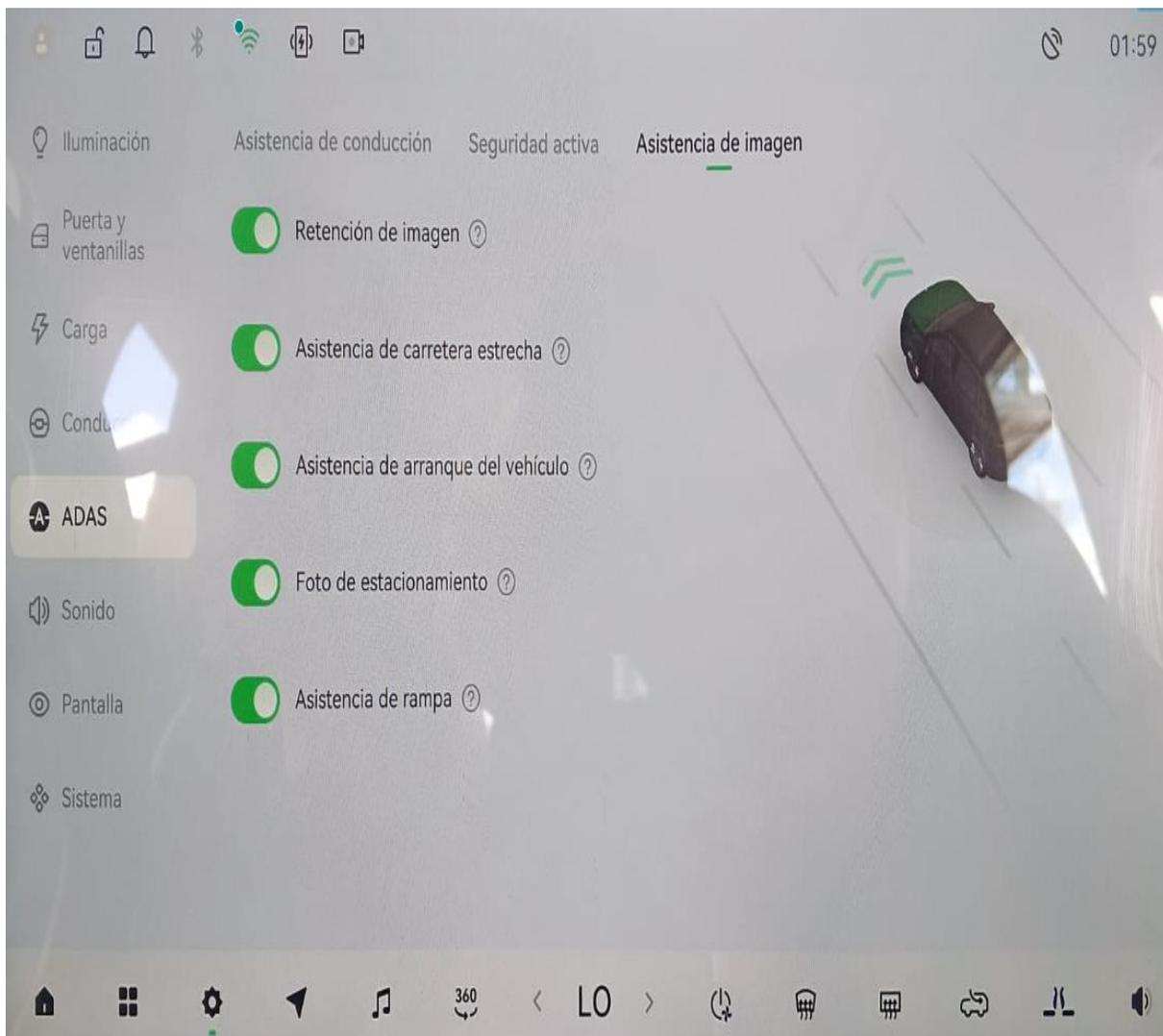


## Anexo M – ADAS del vehículo 2







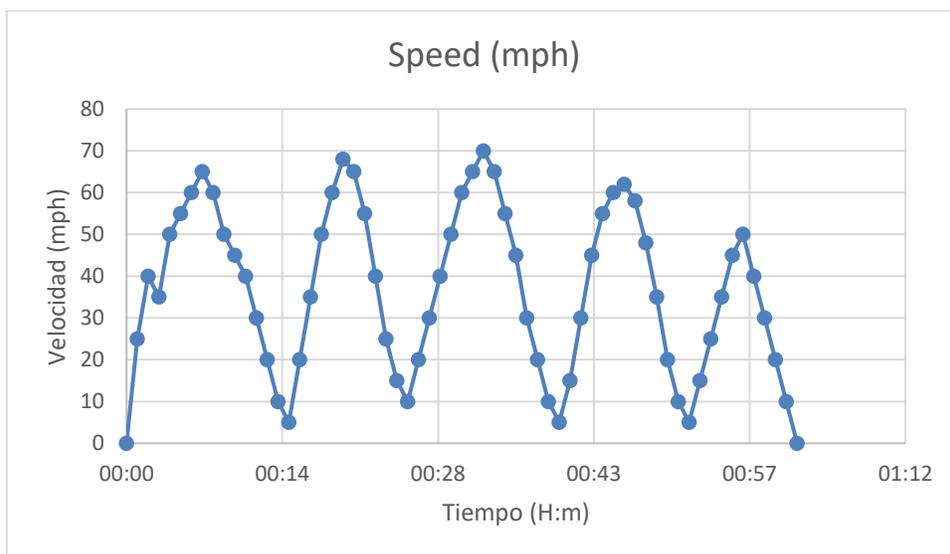


## Anexo N – Parámetros de rutas vehículo 1 y 2

### Vehículo 1

#### Figura 18

*Speed Chart Vehículo 1 basado en duración*



*Nota. Autores*

#### Tabla 6

*Speed Chart Vehículo 1 basado en duración*

Time (H:m)	Speed (mph)
0:00	0
0:01	25
0:02	40
0:03	35

0:04	50
0:05	55
0:06	60
0:07	65
0:08	60
0:09	50
0:10	45
0:11	40
0:12	30
0:13	20
0:14	10
0:15	5
0:16	20
0:17	35
0:18	50
0:19	60
0:20	68
0:21	65

0:22	55
0:23	40
0:24	25
0:25	15
0:26	10
0:27	20
0:28	30
0:29	40
0:30	50
0:31	60
0:32	65
0:33	70
0:34	65
0:35	55
0:36	45
0:37	30
0:38	20
0:39	10

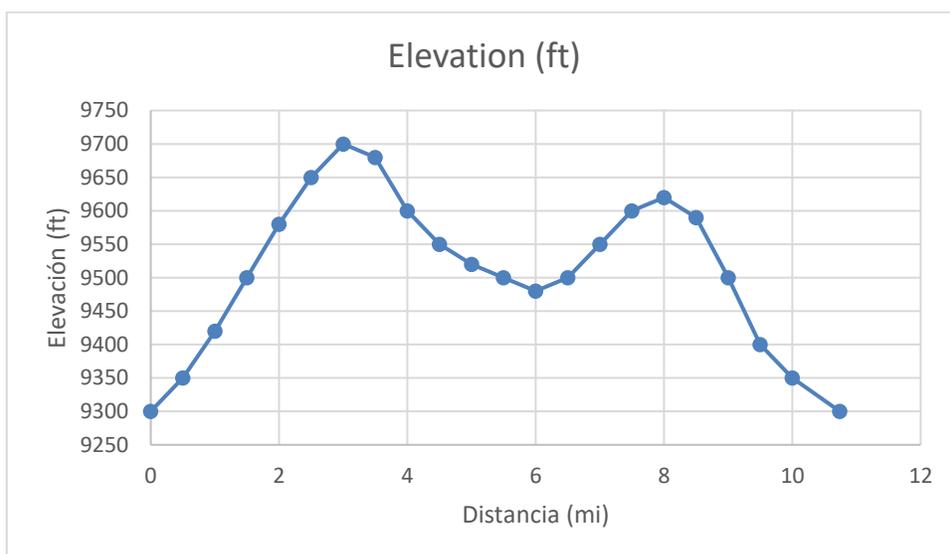
0:40	5
0:41	15
0:42	30
0:43	45
0:44	55
0:45	60
0:46	62
0:47	58
0:48	48
0:49	35
0:50	20
0:51	10
0:52	5
0:53	15
0:54	25
0:55	35
0:56	45
0:57	50

0:58	40
0:59	30
1:00	20
1:01	10
1:02:00	0

*Nota. Autores*

### Figura 19

*Elevation Chart Vehículo 1basado en distancia*



*Nota. Autores*

**Tabla 7***Elevation Chart Vehículo 1*

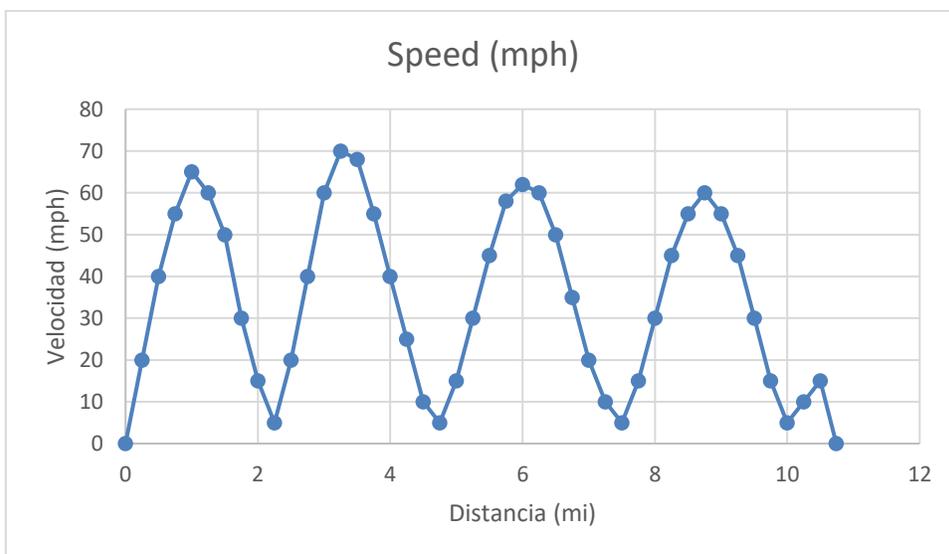
Distance (mi)	Elevation (ft)
0.00	9300
0.50	9350
1.00	9420
1.50	9500
2.00	9580
2.50	9650
3.00	9700
3.50	9680
4.00	9600
4.50	9550
5.00	9520
5.50	9500
6.00	9480
6.50	9500
7.00	9550
7.50	9600

8.00	9620
8.50	9590
9.00	9500
9.50	9400
10.00	9350
10.74	9300

*Nota. Autores*

### **Figura 20**

*Speed Chart Vehículo 1 basado en distancia*



*Nota. Autores*

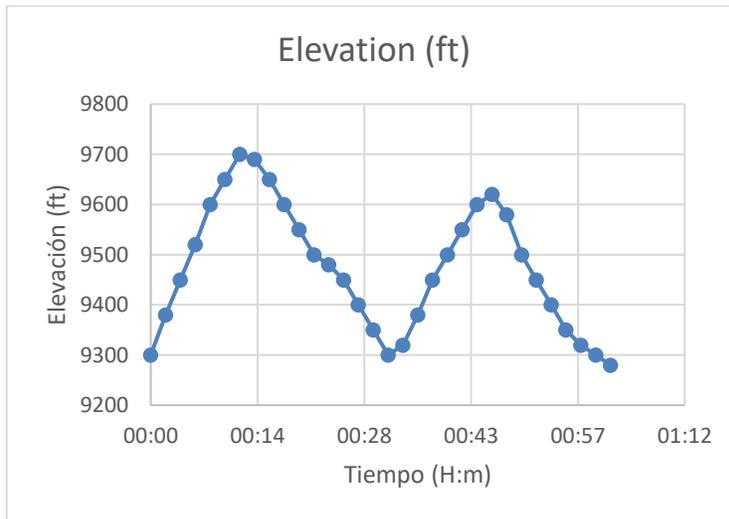
**Tabla 8***Speed Chart Vehículo 1 basado en distancia*

Distancia (mi)	Speed (mph)
0.00	0
0.25	20
0.50	40
0.75	55
1.00	65
1.25	60
1.50	50
1.75	30
2.00	15
2.25	5
2.50	20
2.75	40
3.00	60
3.25	70
3.50	68

3.75	55
4.00	40
4.25	25
4.50	10
4.75	5
5.00	15
5.25	30
5.50	45
5.75	58
6.00	62
6.25	60
6.50	50
6.75	35
7.00	20
7.25	10
7.50	5
7.75	15
8.00	30

8.25	45
8.50	55
8.75	60
9.00	55
9.25	45
9.50	30
9.75	15
10.00	5
10.25	10
10.50	15
10.74	0

*Nota.* Autores

**Figura 21***Elevation Chart Vehículo 1 basado en duración**Nota. Autores***Figura 9***Elevation Chart Vehículo 1 basado en duración*

Time (H:m)	Elevation (ft)
0:00	9300
0:02	9380
0:04	9450
0:06	9520
0:08	9600
0:10	9650

0:12	9700
0:14	9690
0:16	9650
0:18	9600
0:20	9550
0:22	9500
0:24	9480
0:26	9450
0:28	9400
0:30	9350
0:32	9300
0:34	9320
0:36	9380
0:38	9450
0:40	9500
0:42	9550
0:44	9600
0:46	9620

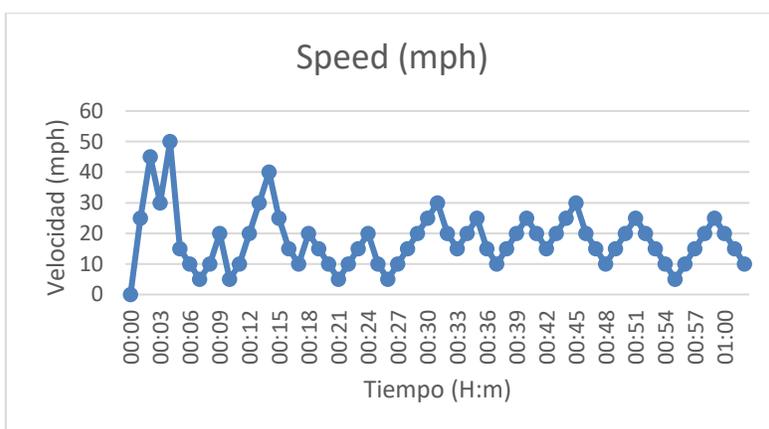
0:48	9580
0:50	9500
0:52	9450
0:54	9400
0:56	9350
0:58	9320
1:00	9300
1:02:00	9280

*Nota. Autores*

## **Vehículo 2**

### **Figura 22**

*Speed chart vehículo 2 basado en duración*



*Nota. Autores*

**Tabla 10***Speed chart vehículo 2 basado en duración*

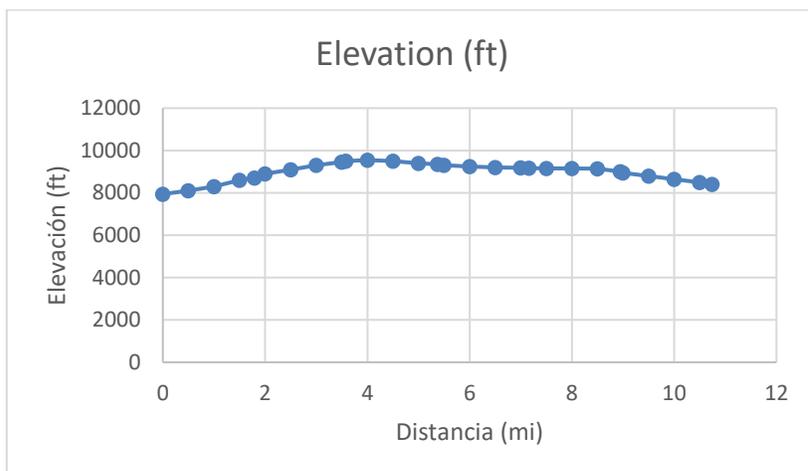
Time (H:m)	Speed (mph)
0:00	0
0:01	25
0:02	45
0:03	30
0:04	50
0:05	15
0:06	10
0:07	5
0:08	10
0:09	20
0:10	5
0:11	10
0:12	20
0:13	30
0:14	40
0:15	25

0:16	15
0:17	10
0:18	20
0:19	15
0:20	10
0:21	5
0:22	10
0:23	15
0:24	20
0:25	10
0:26	5
0:27	10
0:28	15
0:29	20
0:30	25
0:31	30
0:32	20
0:33	15

0:34	20
0:35	25
0:36	15
0:37	10
0:38	15
0:39	20
0:40	25
0:41	20
0:42	15
0:43	20
0:44	25
0:45	30
0:46	20
0:47	15
0:48	10
0:49	15
0:50	20
0:51	25

0:52	20
0:53	15
0:54	10
0:55	5
0:56	10
0:57	15
0:58	20
0:59	25
1:00	20
1:01	15
1:01:49	10

*Nota.* Autores

**Figura 23***Elevation chart vehículo 2 basado en distancia**Nota. Autores***Tabla 11***Elevation chart vehículo 2 basado en distancia*

Distance (mi)	Elevation (ft)
0.00	7940
0.50	8100
1.00	8300
1.50	8600
1.79	8700
2.00	8900

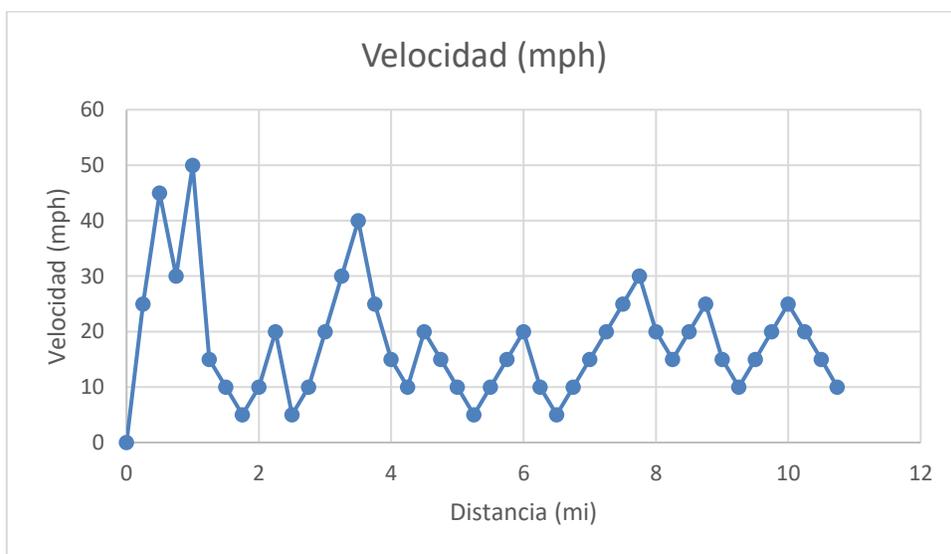
2.50	9100
3.00	9300
3.50	9450
3.58	9500
4.00	9548
4.50	9500
5.00	9400
5.37	9350
5.50	9300
6.00	9250
6.50	9200
7.00	9180
7.16	9170
7.50	9160
8.00	9150
8.50	9140
8.95	9000
9.00	8950

9.50	8800
10.00	8650
10.50	8500
10.74	8400

*Nota.* Autores

### Figura 24

*Speed chart vehículo 2 basado en distancia*



*Nota.* Autores

**Tabla 12***Speed chart vehículo 2 basado en distancia*

Distancia (mi)	Velocidad (mph)
0.00	0
0.25	25
0.50	45
0.75	30
1.00	50
1.25	15
1.50	10
1.75	5
2.00	10
2.25	20
2.50	5
2.75	10
3.00	20
3.25	30
3.50	40
3.75	25

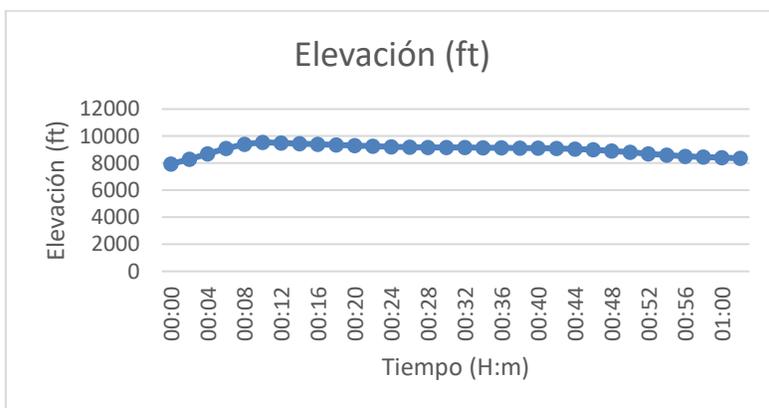
4.00	15
4.25	10
4.50	20
4.75	15
5.00	10
5.25	5
5.50	10
5.75	15
6.00	20
6.25	10
6.50	5
6.75	10
7.00	15
7.25	20
7.50	25
7.75	30
8.00	20
8.25	15

8.50	20
8.75	25
9.00	15
9.25	10
9.50	15
9.75	20
10.00	25
10.25	20
10.50	15
10.74	10

*Nota.* Autores

### Figura 25

*Elevation chart vehículo 2 basado en duración*



*Nota.* Autores

**Tabla 13***Elevation chart vehículo 2 basado en duración*

Tiempo (H:m)	Elevación (ft)
0:00	7940
0:02	8300
0:04	8700
0:06	9100
0:08	9400
0:10	9548
0:12	9500
0:14	9450
0:16	9400
0:18	9350
0:20	9300
0:22	9250
0:24	9200
0:26	9180
0:28	9170
0:30	9160

0:32	9150
0:34	9140
0:36	9130
0:38	9120
0:40	9110
0:42	9100
0:44	9050
0:46	9000
0:48	8900
0:50	8800
0:52	8700
0:54	8600
0:56	8500
0:58	8450
1:00	8400
1:01:49	8350

*Nota.* Autores