



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

SISTEMAS DE CONDUCCIÓN SEMIAUTÓNOMA EN VÍAS URBANAS

**PROYECTO FINAL DE MÁSTER
MÁSTER UNIVERSITARIO EN TRANSPORTE, TERRITORIO Y
URBANISMO**

AUTOR: Erick Miguel Marte Collado

Tutor: Prof. Alfredo García García

VALENCIA, JUNIO 2018

Índice

1. Resumen	9
2. Introducción.	10
3. Estado del Arte.	14
3. Objetivos del estudio.....	29
4. Hipótesis.....	30
5. Alcance.....	31
6. Metodología.....	32
7. Instrumentación.	34
8. Tramos de Red Viaria Urbana de Estudio.....	36
8.1 Toma de Datos de Ancho de Carriles.	40
8.2 Toma de Datos de Altura y Posición de Señalización Stop.	47
8.3. Entrevista a Concesionarios de Automóviles.	52
8.4. Variables del Proceso.	58
8.4.1. Variables referentes a la configuración de carriles.	58
8.4.2. Variables referentes a la detección de señalización.	58
8.5. Tratamiento de Datos.....	59
9. Discusión.	75
10. Conclusiones del Estudio.....	80
11. Futuras líneas de Investigación.	82
12. Conclusión.	83
13. Referencias bibliográficas.....	84

Lista de Tablas

Tabla 1: Modelo de ejemplo estudio del control de carril para un tramo de vía, según su anchura.	45
Tabla 2: Nomenclatura de la Figura 43.	48
Tabla 3: Modelo de Ejemplo para Estudio Del Control De Señales De Stop Según Altura Y Posición.....	49
Tabla 4: Estudio Del Control De Carril Según Su Anchura.	61
Tabla 5 : Tratamiento estadístico de los Datos.	65
Tabla 6 : Estudio Del Control De Señales De Stop Según Altura Y Posición.	69
Tabla 7: Control de Estudio de Stop finalizado, Modelo 1, compuesto por las variables de Distancia Visibilidad con el Porcentaje de Detección.....	72
Tabla 8: Anchuras mínimas y máximas para conducción Automatizada y Manual.	75
Tabla 9: Anchura Crítica para ambas conducciones y su coeficiente.	75

Lista de Figuras

Figura 1: Niveles de Automatización SAE, Fte. Automated Driving Systems 2.0: A Vision For Safety (NHTSA 2017)	11
Figura 2: Vehículo autónomo BOSS, ganador del Reto DARPA 2007.Fte.(Chris Urmson, Joshua Anhalt, 2008)	15
Figura 3: Sistema de Diseño de Automatización para conducción urbana. Fte: (Campbell et al., 2010).....	15
Figura 4: Vista desde uno de los vehículos de prueba acercándose a un embotellamiento de tráfico. Fte : (Campbell et al., 2010)	16
Figura 5: Puntos, trazos y variables utilizados en la dinámica de cálculo para rotondas. Fte:(Joshué et al., 2011).....	17
Figura 6: Diferentes escenarios de detección, el círculo representa el automóvil, con tres señales distribuidas a lo largo de la vía, el área sombreada en tono rojo es al área de atención del conductor en cada caso. A) escenario para coche autónomo. B) y C) el sistema rastrea la atención del conductor. En B) el conductor nota todas las señales, el sistema señala la señal con mayor dificultad de notar. En C) el conductor esta distraído y el sistema y no observan dos señales. Fte:(Møgelmoose et al., 2012).	18
Figura 7: CoCar automóvil de prueba equipado con sensores para percepción de él ambiente. Fte: (Kohlhaas et al., 2013)	19
Figura 8: Visualización del algoritmo, la imagen inferior muestra el sensor de data como imagen profundizada a la izq. Y la intensidad de imagen a la derecha. Fte:(Kohlhaas et al., 2013)	19
Figura 9: Escenario de arquitectura de Control del programa AUTOPIA. Fte. (Godoy et al., 2015).....	21
Figura 10: Imagen de la demostración durante el experimento. Fte:(Godoy et al., 2015)	21
Figura 11: Configuración de sensores, Sistema de visión, radar frontal, GPS de bajo costo y LiDAR multi layer. Fte:(Kim et al., 2015).	22
Figura 12: Propuesta de algoritmo para el sistema de conducción autónoma. Fte: (Kim et al., 2015).....	22

Figura 13: 1. Ejemplo de seguimiento (tracking) y predicción de un objeto en movimiento.....	23
Figura 14: Conceptos de aumento de capacidad de flujo de tráfico. Fte.(Wietholt & Harding, 2016).....	24
Figura 15: Línea de vector para concepto de detección de carril. Fte.(Fang & Wang, 2017).....	25
Figura 16: Esquema propuesto para algoritmo de VFC. Fte.(Fang & Wang, 2017)	26
Figura 17: Comparaciones entre detección de línea de carril con una proyección de sombra entre el vector y el VFC. Fte.(Fang & Wang, 2017).	26
Figura 18: BMW 520d. Fte:(BMW AG, 2015).....	32
Figura 19: El sensor de radar está ubicado en la parte delantera del parachoques. Fte:(BMW AG, 2015)	33
Figura 20: La cámara está instalada cerca del retrovisor interior. Fte: (BMW AG, 2015).....	33
Figura 21: Sensores en parachoques frontal y trasero. Fte: (BMW AG, 2015)	33
Figura 22: Cámara GARMIN VIRB Elite, dispositivo de anclaje.....	36
Figura 23: Cámara GARMIN VIRB Elite, dispositivo de anclaje y cinta métrica.	36
Figura 24: Plano situación secciones transversales.....	37
Figura 25: Red Viaria Urbana de Estudio.....	37
Figura 26: Ruta Piloto 1 para Prueba de detección de Stops.	38
Figura 27: Ruta Piloto 2 para Prueba de detección de Stops.	39
Figura 28: Ruta Piloto 3 para Prueba de detección de Stops.	39
Figura 29: Tramo A1: Sección Av. Tarongers.	40
Figura 30: Tramo A2: Sección Av. Tarongers (b).....	40
Figura 31: Tramo A3: Sección Bulevard Perifèric Nord.....	41
Figura 32: Tramo A4: Sección Bulevard Perifèric Nord (b).	41
Figura 33: Tramo A5: Sección Bulevard Perifèric Nord (c).	42
Figura 34: Tramo A6: Sección Bulevard Perifèric Nord (d).	42
Figura 35: Tramo A7: Sección Germans Machado.	43
Figura 36: Tramo A8: Sección Germans Machado (b).....	43
Figura 37: Tramo A9: Sección Germans Machado (c).....	44

Figura 38: Tramo A10: Sección Germans Machado (d).....	44
Figura 39: Tramo A11: Sección Germans Machado (e).....	44
Figura 40: Tramo A12: Sección Germans Machado (f).....	45
Figura 41: Tramo A11, Carriles medidos en la vía.	46
Figura 42: Tramo A07, Carril interior medido en la vía.....	46
Figura 43: Croquis inicial de distribución de medidas recolectadas para la detección de Stop.....	48
Figura 44: Señal de Stop, con Marca Vial presente.	49
Figura 45 : Señal de Stop de menor tamaño al estándar durante recorrido.	50
Figura 46: Detección de señal de Stop durante recorrido #3.	50
Figura 47: Detección de señal de Stop durante recorrido #1.	51
Figura 48: Detección de señal de Stop durante recorrido #2.	51
Figura 49: Relación coeficientes de conducción manual más anchura de carriles.....	62
Figura 50: Relación coeficientes de conducción automatizada más anchura de carriles.....	63
Figura 51: Comparación El Tipo De Conducción Con La Anchura De Carril, Datos en bruto.....	64
Figura 52: Relación coeficientes de CM (Conducción Manual) comparados con las Anchuras Medias de Carriles.	66
Figura 53: Relación coeficientes de CA (Conducción Automatizada) comparados con las Anchuras Medias de Carriles.	67
Figura 54: Anchura Critica y Coeficientes obtenidos a partir de la relación entre los tipos de conducción y las Anchuras Medias de Carril.....	68
Figura 55 : Altura de la posición de las cámaras en el coche BMW 520d....	71
Figura 56 : Croquis Final de Medición para Señales de Stop.	71
Figura 57: Gráfico de Tendencia de detección de señales de Stop.....	74
Figura 58: Tramo de vía en el cual se ejecutó mediciones con la presencia de árboles proyectando su sombra la que podrían restar visibilidad de detección.....	76
Figura 59: Señalización con evidencia de vandalismo o signos que pueden causar anomalías al momento de interacción con los vehículos AV.	78
Figura 60: Detección de señal de Ceda el Paso.	78

Figura 61: Detección de Señalización de Stop por posibles condiciones de menor luminosidad.....	79
Figura 62: No Detección de Señalización de Stop por posibles condiciones de mayor luminosidad.	79

Expresar mi agradecimiento a Dios, mi familia, compañeros/as, amigos/as y al profesor D. Alfredo García García.

Por el apoyo, la ayuda y brindarme las guías necesarias para lograr este trabajo.

1. Resumen

El presente trabajo muestra dos casos de estudio desarrollados a través de aproximación experimental sobre la capacidad de la infraestructura viaria urbana para acoger los sistemas semiautónomos de conducción. El estudio expone aportes y dificultades que expanden los conocimientos previos sobre la conducción semiautónoma en vías urbana y los problemas que presenta la infraestructura viaria urbana actual ante el recorrido de estos vehículos.

Durante el estudio a través de la conducción de un coche semiautónomo con nivel de automatización entre 2 y 3 a lo largo de un tramo de vía urbana, se registra en diversas configuraciones las anchuras de carril, tomando en cuenta si cumplen con el mantenimiento del control automatizado o la cesión de este al conductor. Obteniendo como resultado la creación del concepto de anchura crítica, la cual es un umbral de medida obtenido para un 50% de viabilidad técnica para las conducciones manual y automatizada, bajo un ancho de 2.72 metros. Esto demuestra que la conducción semiautónoma en vías urbanas es posible bajo ciertos dominios operacionales, pero hay factores que influyen a la hora del control o mantenimiento de cesiones que se deben estudiar más para evitar desconexiones del sistema y mantener la seguridad vial.

Por otra parte, la conducción a través de tres circuitos de calles con señal de STOP en redes urbanas comprueba la tendencia existente entre la distancia lateral de visibilidad y el porcentaje de detección para el reconocimiento automático de la señalización de Stop. Por tanto, demostrando que a mayor separación de señal respecto a la cámara del vehículo semiautónomo menor probabilidad de detección tendrá. Se evidencia durante y al final de este estudio que se requieren mejoras en los sistemas de detección y las normas de señalización para mejorar el funcionamiento de los vehículos automatizados.

2. Introducción.

El crecimiento tecnológico y el espíritu de innovación son dos elementos que siempre nos han caracterizado como seres humanos en todos los aspectos de la vida, la búsqueda constante de construir nuevas cosas e implementar nuevas tecnologías que nos llevan a otros niveles de conocimiento, ciertamente es un punto interesante de la vida misma y nos hace ver hacia dónde vamos. Con los últimos avances tecnológicos, los vehículos automatizados (AV) están en aumento siendo la automatización un paso previsible para todas las marcas y modelos, lo que es un hecho que entre nosotros se encuentran en circulación estos vehículos en varios estados de avance.

Los objetivos principales en la creación y desempeño de un vehículo totalmente autónomo, es que el mismo posea la capacidad de detección de su entorno, adaptación y toma de decisiones bajo un dominio operacional dado, buscando que con cada avance en la tecnología de automatización de vehículos la interacción humana sea cada vez menor.

Para la aplicación de un determinado sistema automático en la conducción, deben darse varias condiciones, estas mismas son las que se llaman dominio operacional (Operational Domain) y entre estas se incluyen:

- Tipo de vía y las características de estas.
- Características del tráfico.
- Área geográfica.
- Rangos de velocidad.
- Condiciones ambientales (tiempo, día/noche, etc.).
- Otras restricciones de dominio.

Con el establecimiento de los 6 niveles de la escala de automatización definidos por la SAE J3016 internacional, siendo el Nivel 0 conducción manual exclusiva y el Nivel 5 conducción totalmente automatizada, el mercado actual alcanza el Nivel 2 y 3 en ciertas condiciones cumplidas dentro de los dominios operacionales.

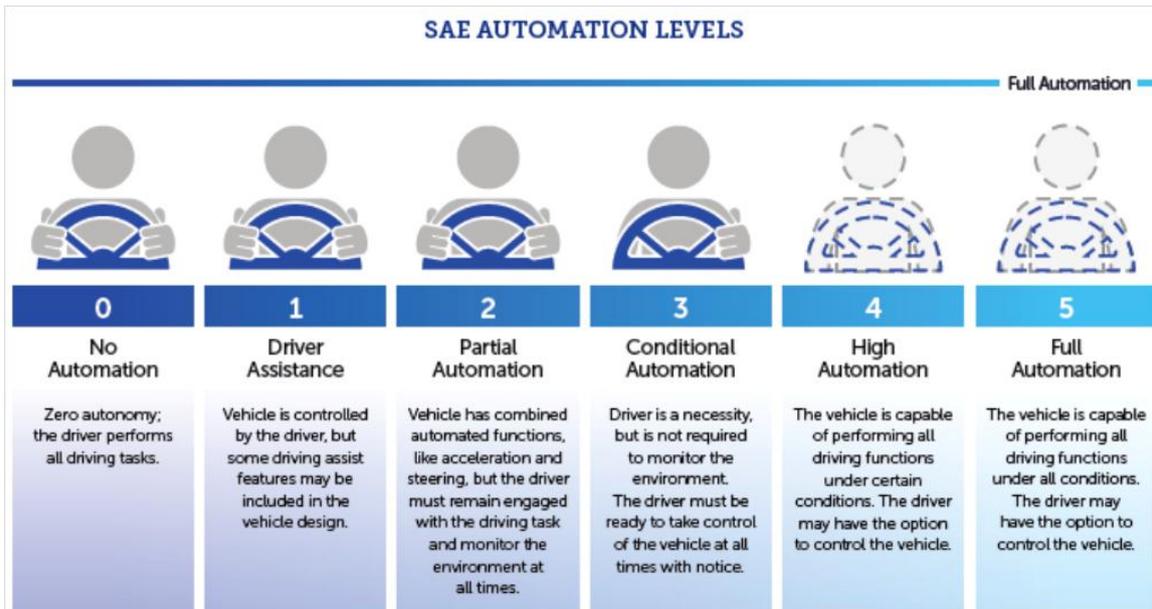


Figura 1: Niveles de Automatización SAE, Fte. Automated Driving Systems 2.0: A Vision For Safety (NHTSA 2017)

A partir de esto podemos decir que son vehículos de conducción semiautónoma, estableciendo como característica que el vehículo es capaz de tener el control de forma continua en el tiempo, pero necesita de la presencia activa de un conductor para supervisión y colaboración con la operación para tomar el mando del vehículo de forma rápida cuando el sistema lo considere o en caso de incidentes, esta colaboración se logra a través de la presencia del Human-Machine Interface (HMI) o interfaz sistema conductor. Con los vehículos semiautónomos aun en estado de desarrollo, es evidente que se producen cesiones frecuentes al conductor y que el HMI no incluye ciertos avisos para evitar molestias.

Un ADS (automated driving system) debe ser capaz de informar al operador o al ocupante humano a través de varios indicadores como, por ejemplo, el “Modo Participación en el ADS” y el Mal funcionamiento; y/o solicitud de Control desde el ADS al conductor. Es sumamente importante para el sistema el conocimiento del comportamiento inmediato del carril, la conservación de las marcas viales y también la posición relativa del vehículo.

El diseño y creación de marcas viales longitudinales pensadas para conducción humana facilitan la delimitación de carriles de circulación, permiten al sistema de conducción autónoma su posicionamiento y conocer el comportamiento de las vías justo delante del vehículo. Esta serie de características juegan un papel fundamental en la función de guiado, por lo que podrían generar problemas para los vehículos automatizados si su guiado no es suficiente. (García, Padovani Baez, & Camacho-Torregrosa, F. J., 2017).

Otro aspecto son los sistemas de tratamiento de imagen, empleados en los vehículos semiautónomos, los cuales deben procesar una enorme cantidad de información por segundo, en tiempo real y sin posibilidad de error, como resultado quedándose solo con un área de interés (Región of Interest, ROI) la cual es normalmente establecida en función de la velocidad instantánea del vehículo y la función de distinción de bordes de texturas, con estas funciones tenemos avances y áreas amplias para estudio, tanto para la visión artificial con otros sistemas, los cuales incluyen GPS, unidades inerciales (IMU) e incluso LiDAR como muestra Albert S.Huang (2010) o la representación de mapas con la unión de estos elementos como puntualiza la investigación propuesta por Beomjun Kim, Dongwook Kim y Kyuwon Kim (2015).

Esto nos lleva a una serie de interrogantes respaldadas por la creciente incertidumbre y complejidad, tanto para aspectos técnicos, como los de seguridad, en el futuro de la conducción: ¿podrán estos vehículos ser adaptados a los distintos dominios operacionales presentes?; ¿cuáles son las limitaciones de estos vehículos semiautónomos frente a nuestras infraestructuras actuales?; ¿qué problemas deben considerar los propietarios y operadores viarios en términos de operaciones de tráfico cuando se encuentran con una flota de vehículos mixtos (por ejemplo, totalmente automatizados, parcialmente automatizados y no automatizados, cooperativos y desconectados) durante el período de transición a una flota potencialmente totalmente automatizada?; ¿existen actividades o investigaciones en el área de evaluación de infraestructura, buscando la necesidad de establecer interfaz ADS y/o estándares asociados? Frente a los avances y las preguntas que se van generando, se requiere un examen de las capacidades técnicas tanto de las carreteras, como las vías urbanas.

En este trabajo, enfocado en la conducción semiautónoma en redes viarias urbanas, con las características y condiciones que presentan estas redes, entre las cuales están; variación en geometría, diferentes velocidades de circulación, sistemas de señalización, siendo todos elementos concebidos para la conducción humana, hoy en día es de carácter exigente el reto de una adaptación gradual hacia la posibilidad de una conducción semiautónoma manteniendo la compatibilidad con niveles de automatización inferiores.

Este estudio se basa en el análisis del desempeño de un modelo de vehículo semiautónomo y su sistema de conducción automatizada en redes viarias urbanas de la ciudad de Valencia; en este caso varios segmentos viarios, estableciendo mediciones de la anchura de los carriles para determinar la posible correlación entre la separación de las marcas viales y las cesiones de control al conductor por parte de un sistema semiautónomo de conducción.

Adicionalmente, la observación de la detección automática de la señalización de STOP presente en varias vías de la red urbana para determinar cuáles serían las modificaciones necesarias en posición y tamaño para que el recorrido de estos vehículos pueda detectar siempre las señales correspondientes.

Así también, la realización de una serie de entrevistas a concesionarios de vehículos, para obtener varios puntos de vistas, opiniones y futuras expectativas sobre el desempeño de los vehículos semiautónomos en vías urbanas.

Por último, establecer una serie de conclusiones, de cara al reto que presentará la conducción semiautónoma en vías urbanas; por ejemplo, la influencia que ejerce en la conducción autónoma, las distintas configuraciones de anchos de carril y la obtención de un ancho crítico, el cual nos permitiría establecer un valor en el cual la conducción automatizada y manual sea posible, a su vez también mostrando las posibles variables que se han encontrado en las pruebas.

3. Estado del Arte.

El tema considerado en este trabajo es conducción semiautónoma en vías urbanas, luego de una revisión a la literatura nos referimos a los niveles 3 y 4 de la escala SAE, como paso al futuro, otros trabajos se enfocan más a la revisión del desempeño de estos vehículos en carretera y la infraestructura ya presente, sin apuntar directamente a las áreas urbanas. A pesar de esto, los trabajos relacionados si mencionan avances, experimentos y conclusiones en cuanto a la dirección de esta tecnología y su desarrollo en los próximos años, para esta área específica.

Los vehículos modernos son capaces de percibir su entorno local, estableciendo razonamientos, planteando movimientos complejos, detectando tipos de objetos, a través del cumplimiento de reglas y aunque en menor desarrollo la posibilidad del estudio de reacciones ante situaciones inesperadas, ante agentes del entorno.

Las investigaciones actuales abarcan varios aspectos de la conducción semiautónoma en vías urbanas, desde contenidos técnicos o tecnológicos hasta análisis del comportamiento de los conductores y su entorno ante presentes obstáculos.

El primer paso para las pruebas de desempeño en vías urbanas se dio con la creación del Reto Urbano DARPA Urban Challenge (DUC) y el AV, BOSS como explican en su estudio Chris Urmson, Joshua Anhalt, (2008), fue una competencia con vehículos experimentales en ambientes controlados, a través de los cuales se establecieron una serie de parámetros que serían base para las investigaciones actuales a pesar de las limitaciones tecnológicas en aquellos años, por ejemplo, la capacidad de los sensores no eran suficientes para la conducción urbana, ya que no proveían suficiente data para cobertura del medio que los rodea. El sistema para el vehículo Boss exhibió cierto carácter primitivo en las nociones de reconocimiento de otros vehículos y la clasificación de objetos en los mapas de entorno elaborados para la representación utilizada con obstáculos y curvas.



Figura 2: Vehículo autónomo BOSS, ganador del Reto DARPA 2007. Fte. (Chris Urmson, Joshua Anhalt, 2008)

En la misma línea continúan las investigaciones de Benenson et al., (2008), estas resaltan las principales dificultades asociadas a la conducción de vehículos autónomos en entornos urbanos, a través de una propuesta de navegación autónoma de un vehículo robot bajo un entorno heterogéneo, diseñado geoméricamente contra obstáculos fijos y móviles, tomando como regla la seguridad crítica en cada movimiento.

Un análisis más profundo lo realiza Campbell, Egerstedt, How, & Murray (2010), explicando sobre la diversidad de sistemas de vehículos y el planteamiento utilizado en el DUC, determinando que; a un alto nivel la mayoría de estos vehículos en competición descomponían el problema de conducción autónoma en ámbito urbano en cuatro subsistemas básicos: receptividad de los sensores (sensing), percepción, planeamiento y control.

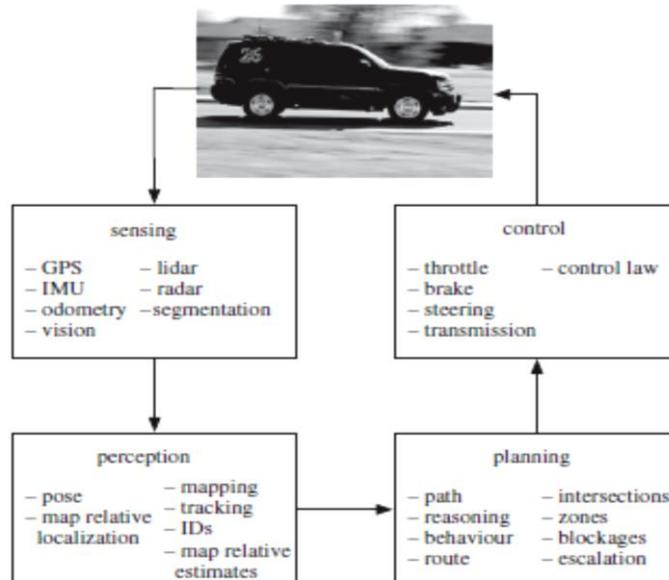


Figura 3: Sistema de Diseño de Automatización para conducción urbana. Fte: (Campbell et al., 2010)

Esta investigación expresa nociones hacia el enfoque futuro de la integración continua entre vehículo e infraestructura viaria, en este caso las autopistas autonómicas y su interacción con el vehículo semiautónomo u autónomo llevado a la ejecución real, planteando el uso del control distributivo de autopistas inteligentes con los sistemas de transporte, manteniendo el aspecto de la seguridad operativa del vehículo y su interacción con la infraestructura vial.

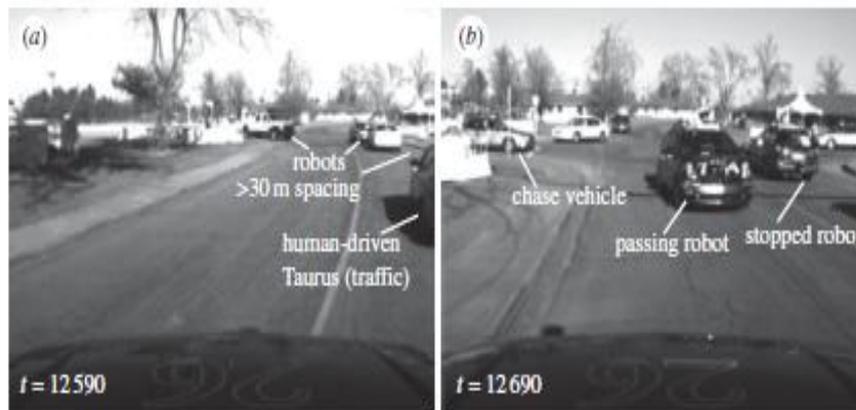


Figura 4: Vista desde uno de los vehículos de prueba acercándose a un embotellamiento de tráfico. Fte : (Campbell et al., 2010)

Otras investigaciones que pueden ser consideradas como soporte o base de elementos necesarios para conducción autónoma en vías urbanas, cómo Albert S.Huang (2010), el cual utilizando sensores, describe la detección y estimación de la geometría de carril como una composición de selección de modelos de detección y rastreo de carriles, a través de algoritmos para la estimación de la geometría del mismo.

Las investigaciones propuestas por Joshué, Vicente, De Pedro, & Ljubo (2011) abarcan el funcionamiento autónomo del vehículo en las rotondas, considerando el radio, las coordenadas centrales y la ecuación paramétrica de un círculo, logrando generar un mapa automático, se resalta que los experimentos fueron probados en un simulador 3D que emula el comportamiento del vehículo Driverless del mundo real.

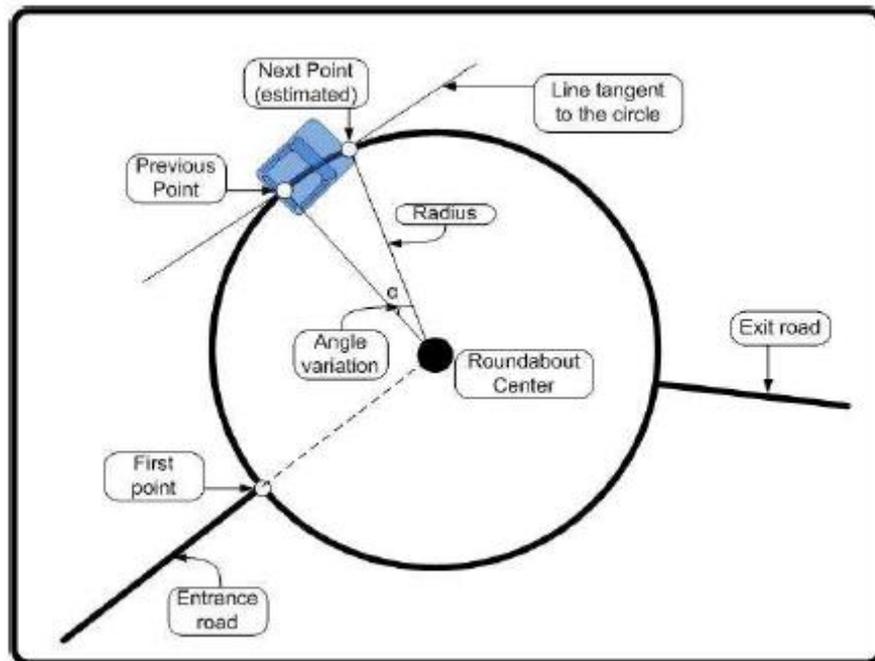


Figura 5: Puntos, trazos y variables utilizados en la dinámica de cálculo para rotondas. Fte:(Joshué et al., 2011)

Otros estudios como el de Møgelmoose, Trivedi & Moeslund (2012) proporcionan una encuesta de detección de señales de tráfico para la asistencia del conductor. Presentando que la investigación de vanguardia, en ese momento utiliza métodos sofisticados en la visión por computadora para la detección de señales de tráfico, la cual ha sido área activa de investigación en la última década.

Las aplicaciones de visión en el camino incluyen la detección de carril, la detección de distracción del conductor y la inferencia de pose del ocupante. Un punto clave en esta investigación es la indicación sobre la crucial consideración de tomar en cuenta al conductor al diseñar un sistema de asistencia para el automóvil.

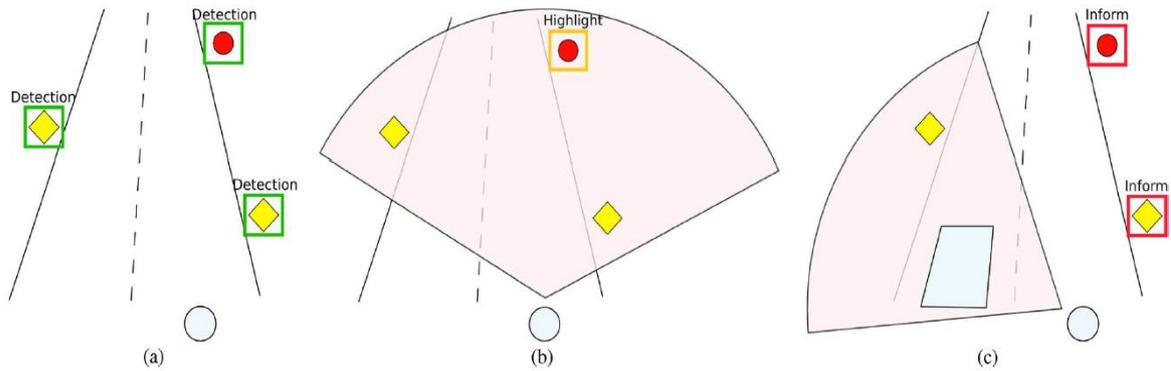


Figura 6: Diferentes escenarios de detección, el círculo representa el automóvil, con tres señales distribuidas a lo largo de la vía, el área sombreada en tono rojo es al área de atención del conductor en cada caso. A) escenario para coche autónomo. B) y C) el sistema rastrea la atención del conductor. En B) el conductor nota todas las señales, el sistema señala la señal con mayor dificultad de notar. En C) el conductor está distraído y el sistema y no observan dos señales. Fte: (Møgelmoose et al., 2012).

Hasta el año 2012 los planteamientos e investigaciones realizadas se limitaron a ciertos aspectos de experimentación real y a pesar de dar pasos acertados en el área de conducción autónoma en vías urbanas no se pudo concretizar en la tecnología necesaria para lograr este objetivo, el próximo escenario llega con los avances tecnológicos en la industria automotriz con la incorporación de los Driver Assistance System (DAS), el Braking System (ABS) y el Electronic Stability Control (ESC) los cuales influenciaron el comportamiento de los conductores.

Cabe destacar que ambos tenían poca relación en cuanto a la cantidad de información del ambiente que registraban, comparados con el Adaptive Cruise Control (ACC) y el Automatic Emergency Braking (AEB), los cuales incorporaban sensores para medir objetos en frente de los vehículos.

En las investigaciones mostradas por Kohlhaas, Schamm, Lenk, & Zollner (2013) expresan que para la conducción automática, los vehículos deben ser capaces de reconocer su entorno, percibir los objetos incluyendo otros participantes del tráfico, como la información de la infraestructura, evaluación y generación de las acciones apropiadas.

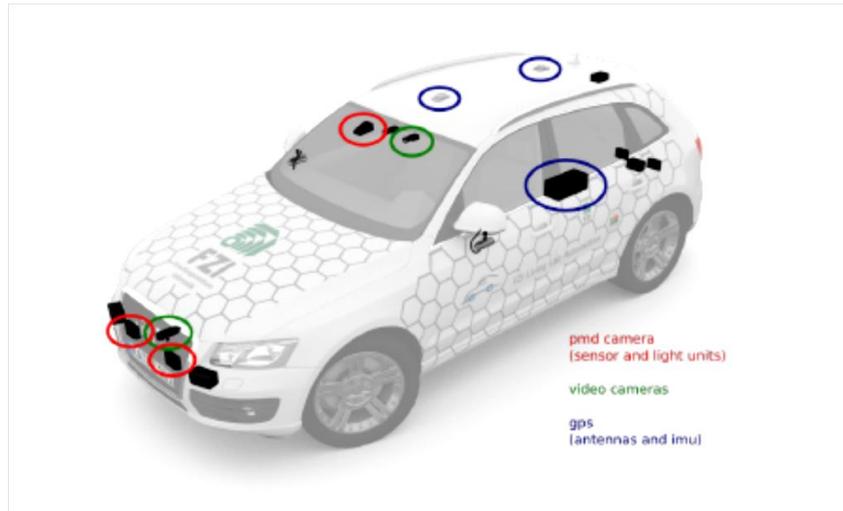


Figura 7: CoCar automóvil de prueba equipado con sensores para percepción de él ambiente. Fte: (Kohlhaas et al., 2013)

A través de la implementación de un control de crucero autónomo que se adapta a situaciones de entorno urbano se demuestran los primeros pasos de integración de módulos existentes de percepción a un vehículo de prueba instrumentado, con los parámetros siguientes:

- Mantener la velocidad permitida.
- Mantener una distancia segura a otros vehículos.
- Adaptar la velocidad de crucero con respecto a otros vehículos.
- Desacelerar a los semáforos para respetar las reglas de tráfico.
- Adaptar la velocidad a curvas y carriles de torneado.



Figura 8: Visualización del algoritmo, la imagen inferior muestra el sensor de data como imagen profundizada a la izq. Y la intensidad de imagen a la derecha. Fte:(Kohlhaas et al., 2013)

Aunque fue necesaria la intervención del conductor en el volante, se buscó incorporar métodos sobre control de vehículos en ambientes urbanos y a propósito futuro poder establecer planes de micro-maniobras para cada caso.

El estudio propuesto por Fernando, Udawatta, Horan & Pathirana (2014) el cual presenta puntos interesantes sobre la detección de los límites del carril en las calles suburbanas con imágenes obtenidas de video, este explica las dificultades asociadas a la compleja estimación de la estructura geométrica de los límites de carril, tales como; la calidad de marcas de carril por el desgaste que presentan, oclusiones por tráfico, las sombras causadas por los árboles y estructuras del lado de las vías o carretera. Su posible solución a estas dificultades es a través del uso de un algoritmo de detección de límites de carriles que trata específicamente los problemas antes mencionados con la integración de dos señales visuales.

La primera señal visual se basa en las características de tipo banda que se encuentran en las líneas de carril extraídas utilizando un filtro simétrico bidimensional de Gabor.

La segunda señal visual se basa en una característica de textura determinada usando la medida de entropía, predefinida alrededor de una línea de límite de carril. Las señales visuales se integran utilizando un clasificador basado en reglas que incorpora un algoritmo de cobertura secuencial modificado para mejorar la solidez.

Para separar las líneas de límite de carril de otras características similares, se genera una máscara de camino utilizando los valores de cromaticidad de carretera estimados. Los puntos extraños alrededor de las líneas límites del carril se eliminan mediante un procedimiento con los valores atípicos basados en residuos estudiados. Para la validación del algoritmo se realizó una extensa evaluación experimental en calles suburbanas y se presentaron los resultados.

Con cada investigación se desprenden más áreas de estudio en la conducción autónoma, como el caso de Godoy et al., (2015) presentando los resultados del programa AUTOPIA, cuyo experimento consistió en conducción con vehículos autónomos en una ruta de 100 kilómetros alrededor de Madrid (España), incluyendo entornos urbanos y de autopistas. Un primer vehículo – actuando como líder y conducido manualmente – transmitió su información relevante tanto posición y velocidad a un segundo vehículo, el cual rastreó la trayectoria del 1er vehículo.

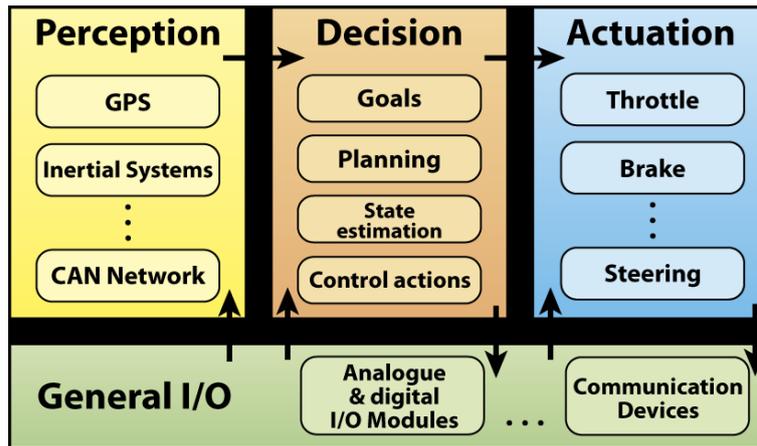


Figura 9: Escenario de arquitectura de Control del programa AUTOPIA. Fte. (Godoy et al., 2015)



Figura 10: Imagen de la demostración durante el experimento. Fte:(Godoy et al., 2015)

Como punto débil se expone que se necesitan mejoras en el sistema GPS y su interacción en los túneles es nula, lo cual forzó su desactivación. Otras áreas de investigación encontrada pertenece a las detalladas por Kim, & Yi (2015), los cuales logran la creación de un algoritmo para la utilización de un alto nivel de conducción autónoma en carreteras urbanas complejas, garantizando la seguridad. El proceso consiste en la configuración de un sensor de producción en serie modificado de la siguiente manera: radar, LiDAR, Visión y GPS/Map.

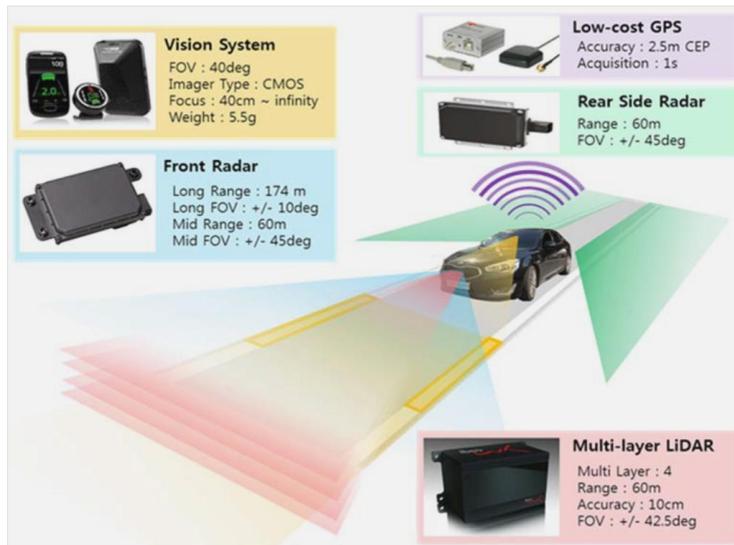


Figura 11: Configuración de sensores, Sistema de visión, radar frontal, GPS de bajo costo y LiDAR multi layer. Fte:(Kim et al., 2015).

El algoritmo propuesto consiste en los tres pasos siguientes: una representación del ambiente, una decisión sobre la conducción segura y una optimización del movimiento, el cual también posee un sistema de representación del ambiente que consta de tres módulos principales.

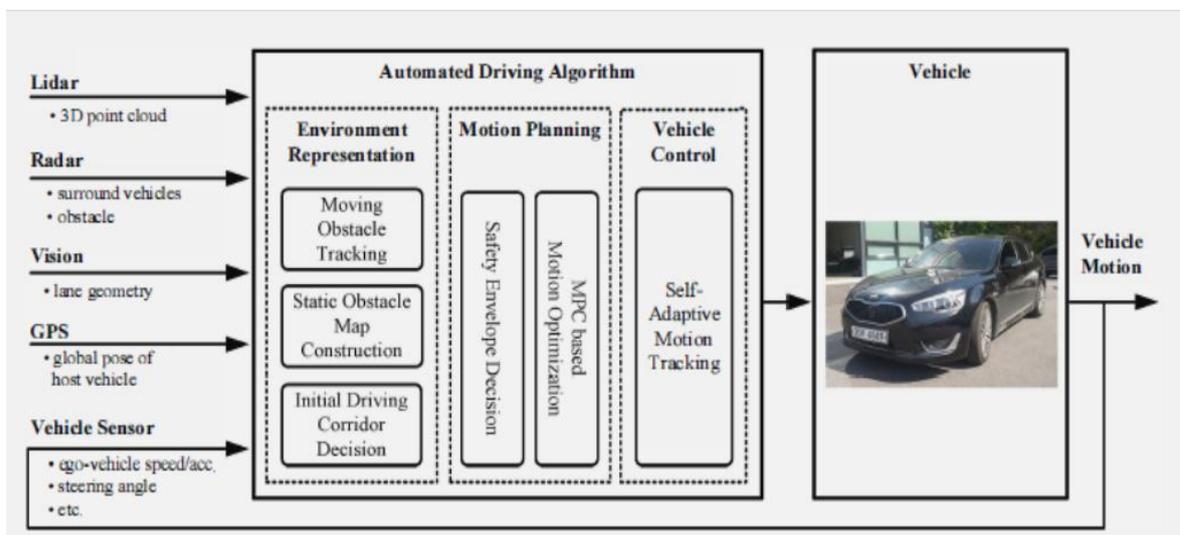


Figura 12: Propuesta de algoritmo para el sistema de conducción autónoma. Fte: (Kim et al., 2015).

Este algoritmo demuestra un rendimiento satisfactorio de control y resultados de la prueba con el vehículo conducido a través de un entorno urbano estrecho, mostrados en la Figura 13 con la presencia de infraestructura estática (edificios, árboles, polos, etc.), coches de estacionamiento a la derecha y un vehículo anterior, reconociendo que se requieren más estudios y mejoras de la capacidad del vehículo autónomo para interpretar un determinado escenario de tráfico y obtener una predicción de comportamiento significativo del tráfico.

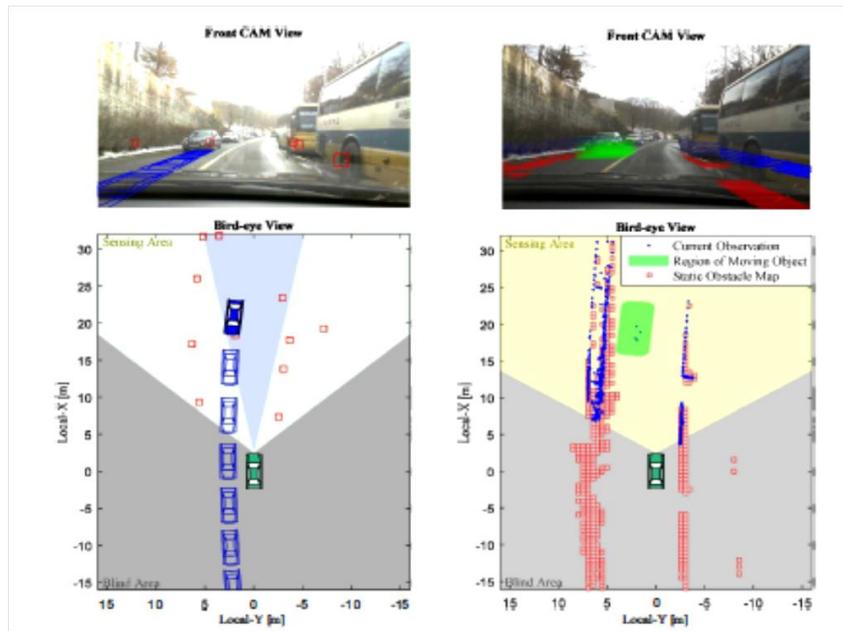


Figura 13: 1. Ejemplo de seguimiento (tracking) y predicción de un objeto en movimiento.
2. Ejemplo de obstáculo estático en mapa de construcción. Fte : (Kim et al., 2015).

En las revisiones realizadas a la investigación de Wietholt & Harding (2016) expone que la mejora infraestructuras viales en este caso en Alemania mediante la construcción de carriles adicionales o de nuevas autopistas resulta costo-intensivo y es un proceso extremadamente tedioso. Así, que el gobierno intenta maximizar el rendimiento de la infraestructura existente mediante sistemas de control dinámico. El desarrollo y despliegue de vehículos autónomos puede tener efectos positivos sobre la capacidad de los elementos de la carretera.

Este estudio, plantea el efecto de los sistemas de control dinámico de tráfico sobre la armonización del flujo y circulación de las autopistas, se efectuó un modelo de simulación microscópica para estos sistemas que no conducen a una capacidad más alta, pero que son capaces de reducir la probabilidad de averías del flujo en los elementos regulares de la carretera.

Cada vehículo dentro de la simulación tiene asignado un valor que determina la velocidad de circulación deseada dependiendo del límite de velocidad local. Cuanto menor es la varianza de la distribución de la velocidad deseada, más armonía de flujo de tráfico se puede observar en la simulación.

concept	description	sketch
A	current network + (TCS)	
B	four lanes + TCS	
C	temporary hard shoulder running + TCS	
D	three lanes + exceptionally marked permanent lane + TCS	
Autonomous driving		

Figura 14: Conceptos de aumento de capacidad de flujo de tráfico. Fte.(Wietholt & Harding, 2016).

El resultado de los funcionamientos de la simulación era que un aumento substancial de la capacidad en el segmento podía ser alcanzado solamente por la solución D combinada con un sistema dinámico del control de tráfico.

Las señales dinámicas de la velocidad solamente (concepto A) ayudaron a reducir la probabilidad de colapso por un cuello de botella causado por vehículos pesados, pero no pudieron aumentar la capacidad.

Los sistemas detrás de los vehículos autónomos guiados (AGV) son capaces de decidir cuándo, qué y cómo aprenden sobre los objetos o comportamientos del entorno. En las últimas décadas, la detección rápida y precisa de carriles, junto con el desarrollo de los sistemas AGV han ganado una gran atención.

Un aspecto que no podemos obviar son los casos más complejos de visión artificial que suelen encontrarse cuando las marcas viales están ausentes de forma total o parcial, las investigaciones de Wen & Jo, (2017) afrontan esta problemática con la clasificación de las marcas viales en 3 tipos: secciones con la totalidad de las marcas viales; secciones con parte de las marcas viales y secciones sin marcas viales.

Así, a través de un método de análisis del gradiente de imagen mediante un algoritmo que puede cambiar para las zonas parciales con marca vial y otro para la detección del ancho de carril sin marcar, con marca vial parcial o sin marcas viales.

Otro ejemplo similar, es el caso presentado por Fang & Wang (2017) en el cual implementando un nuevo método de detección llamado vector borroso conectividad (VFC) que se encarga de detectar y estimar en el camino los límites de carril, empleando una técnica pre-procesado para obtener una imagen de apoyo.

Se obtiene la imagen y basado en su resultado las curvaturas de los límites del carril izquierdo y derecho se estiman agregando los puntos de control que se encuentran por el método VFC.

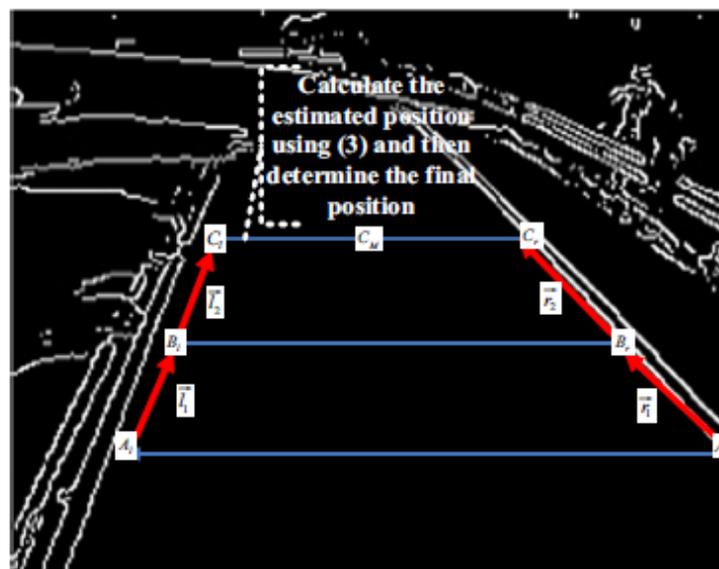


Figura 15: Línea de vector para concepto de detección de carril. Fte.(Fang & Wang, 2017).

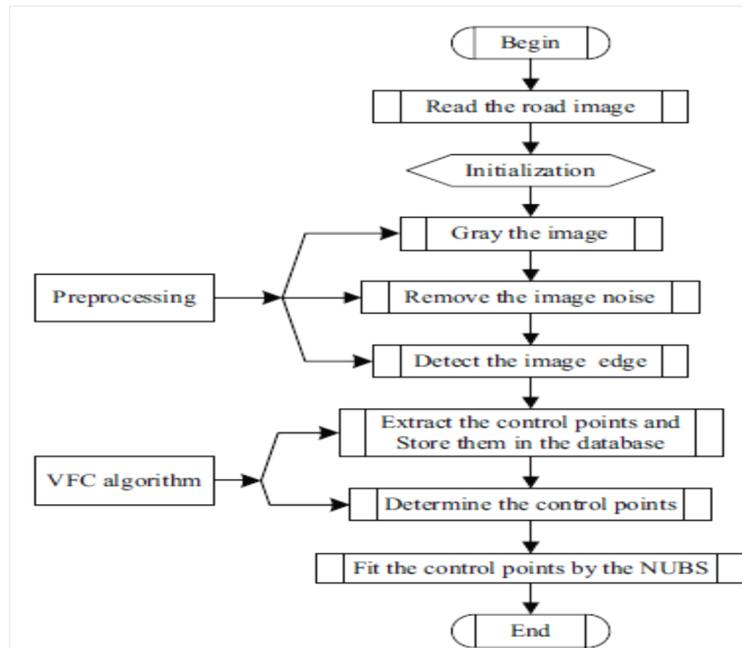


Figura 16: Esquema propuesto para algoritmo de VFC. Fte.(Fang & Wang, 2017)

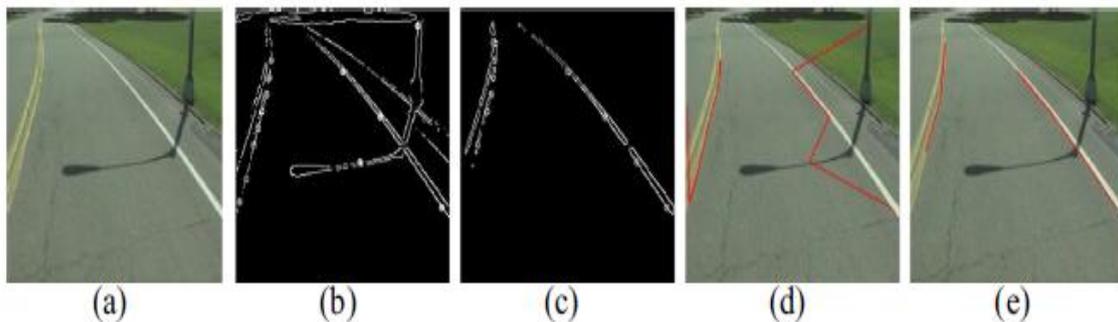


Figura 17: Comparaciones entre detección de línea de carril con una proyección de sombra entre el vector y el VFC. Fte.(Fang & Wang, 2017).

La literatura presentada por Cosgun et al, (2017) se centra más en los retos técnicos que surgen al realizar un sistema capaz de demostrar un análisis completo de estos 4 escenarios: manejo de semáforos, tráfico cruzado en intersecciones, peatonales y zonas de construcción que pueden surgir en entornos urbanos.

Esta demostración plantea que el comportamiento sólido y consistente de la conducción automatizada en escenarios urbanos es posible, pero es necesaria más investigación para el despliegue a gran escala.

Las demostraciones fueron conducidas en la estación de GoMentum en Concord, California, el vehículo automatizado un Acura RLX 2016 con sensores modificados y un sistema adaptado para conducción autónoma, el cual completó 44 funcionamientos, con solamente 3 intervenciones del conductor durante 110km de recorrido.

Los inconvenientes que se presentaron fueron dos casos, donde la exactitud de la localización era temporalmente reducida debido al reconocimiento pobre de la marca del carril y los grandes errores del GPS, dando por resultado la inexactitud de la posición estimada de los obstáculos detectados.

Como hemos visto en esta revisión la literatura presente en el tema es diversa pero no abundante, el mayor auge en estos últimos años han sido las áreas de estudio e investigación, en la detección de señales y carriles en la conducción semiautónoma u autónoma en vías urbanas.

El trabajo presentado por Huggins et al., (2017) evalúa e identifica acciones claves para apoyar el uso de AV en sus redes de carreteras, tomando en cuenta los problemas planteados por los fabricantes de AV en relación con la infraestructura australiana, que podrían aplicarse a otras partes del mundo.

Esto incluye el análisis de cuestiones claves relacionadas con las operaciones viales y abordarlas con un enfoque coherente para respaldar la operación segura, efectiva y obtener beneficios de movilidad de los AV.

Los problemas descritos son los siguientes:

- Señalización vial:
 - Señales estáticas (incluyendo fuentes y espaciado de caracteres, inconsistencias con el diseño).
 - Señales electrónicas (incluyendo frecuencias de actualización y legibilidad de letreros LED).
 - Ubicación de letreros.
- Inconsistencias en la infraestructura de señalización.
- Iluminación u oscuridad en la señal.
- Falta de señalización.
- Mantenimiento y vandalismo.

Las implicaciones a largo plazo para la sostenibilidad y los impactos sociales más amplios también se han considerado como parte del proyecto.

Hoy en día con la carrera tecnológica y su crecimiento masivo en materia de producción de automóviles es un área con bastante presencia, al igual que el

mercado de vehículos considerados semiautónomos circulando en nuestro alrededor, nos da a entender que los medios técnicos están disponibles para un alto grado de automatización en las tareas de conducción y su desarrollo.

Por eso, es una necesidad sobresaliente que al tratarse de usuarios o elementos distintos que van a circular en las vías desconocemos exactamente cómo va a ser la interacción vehículo-vía y también el comportamiento frente a los usuarios convencionales.

En cuanto a la autorización para que circulen los vehículos autónomos y semiautónomos en las carreteras españolas tenemos, para su necesaria homologación el Real Decreto 750/2010, de 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor. A fecha de hoy, hay disponibles varios modelos de conducción semiautónoma y para acceder al mercado han tenido que pasar la preceptiva homologación.

En cuanto al vehículo autónomo, la Dirección General de Tráfico aprobó su utilización bajo autorización directa para pruebas y actualmente firma un acuerdo con Mobileye, compañía perteneciente a Intel, para colaborar con el objetivo de mejorar la seguridad vial y de reducir los accidentes de tráfico, además buscar con esta unión preparar el ecosistema de infraestructuras y adaptar la normativa española a la circulación de vehículos autónomos.

Colaborarán en la normalización de la conducción autónoma definiendo la hoja de ruta reglamentaria requerida e incorporando el modelo de Seguridad Sensible de Responsabilidad (RSS), que proporciona parámetros específicos y medibles para garantizar que un vehículo autónomo circule de manera segura y responsable (20minutos.Es, 2018).

3. Objetivos del estudio.

El objetivo de la investigación es desarrollar una aproximación experimental a la capacidad de la infraestructura viaria urbana para acoger los sistemas semiautónomos de conducción; en particular, llevar a cabo observaciones del funcionamiento de los vehículos semiautónomos en vías urbanas, tomando en cuenta las anchuras de carril y su configuración de marcas viales.

Como segundo objetivo se realiza el análisis de desempeño del vehículo semiautónomo para la detección de señales de STOP y las recomendaciones necesarias para la adaptación de estas y cumplir con los parámetros de seguridad, comodidad y rendimiento para todos los usuarios. Por otra parte, se realizó una serie de entrevistas a concesionarios de vehículos los cual nos permitirá obtener diferentes puntos de vista en cuanto a desempeño y la percepción actual de estos técnicos sobre el desempeño y adaptación de estos vehículos en vías urbanas

4. Hipótesis.

Para este trabajo se han establecido las hipótesis principales del estudio, que se corroborarán o rechazarán en el desarrollo del Trabajo de Fin de Máster. A la hora de enumerar las distintas hipótesis tenemos:

Como hipótesis de partida existe la relación en el establecimiento de un umbral de medida (anchos de carriles) y continuidad de las marcas viales, en el mantenimiento de las cesiones de control al conductor por parte de un sistema semiautónomo de conducción. Es decir, habrá una anchura de carril por encima de la cual el sistema automatizado siempre puede seguir operando.

Así buscando establecer mediante estos valores y los coeficientes de Conducción Autónoma (CA) y Conducción Manual (CM) obtenidos mediante varios recorridos en una ruta establecida, la presencia de una anchura crítica la cual nos permita conocer bajo que anchura es posible tener la misma probabilidad de que ambos tipos de conducción funcionen.

Como hipótesis secundaria para la aproximación experimental a la detección de señales de STOP por parte del vehículo semiautónomo, se propone que a mayor separación de la señal respecto a la cámara del vehículo semiautónomo menor probabilidad de detección tendrá.

5. Alcance.

Este trabajo de investigación incluye el análisis de desempeño y limitaciones de la conducción semiautónoma en vías urbanas en la ciudad de Valencia, tomando en cuenta parámetros de ancho de carriles y detección de señales de Stop.

6. Metodología.

La metodología desarrollada para la primera prueba de investigación ha consistido en la conducción de un coche semiautónomo con nivel de automatización entre 2 y 3, manejado por un único conductor, a lo largo de un tramo de vía urbana, con el objetivo de registrar en diversas configuraciones las anchuras de marcas de carril, tomando en cuenta si cumplen con el mantenimiento del control automatizado o la cesión de este al conductor.

La segunda prueba de investigación consiste en la circulación del coche semiautónomo, manejado por un único conductor, a lo largo de 3 circuitos pilotos en vías urbanas, con el objetivo de observar la detección automática de las señales de STOP presentes en varias vías de la red urbana, para determinar cuáles serían las modificaciones necesarias para el recorrido de estos vehículos.

El coche empleado es un BMW 520d de 2017, que es un coche semiautónomo el cual posee nivel de automatización 2 y equipado con el paquete “Driving Assistant Plus”, este paquete o combinación de sistemas con el Speed Limit Info (SLI) el cual coteja con el navegador los límites de velocidad vigentes, los sistemas de control de crucero activo (ACC) y el asistente activo para el mantenimiento del carril (LKA). La supervisión por parte del conductor al sistema semiautónomo de conducción debe ser de forma continua y para ello se requiere que esté en contacto con el volante, sin necesidad de apretarlo.



Figura 18: BMW 520d. Fte:(BMW AG, 2015).

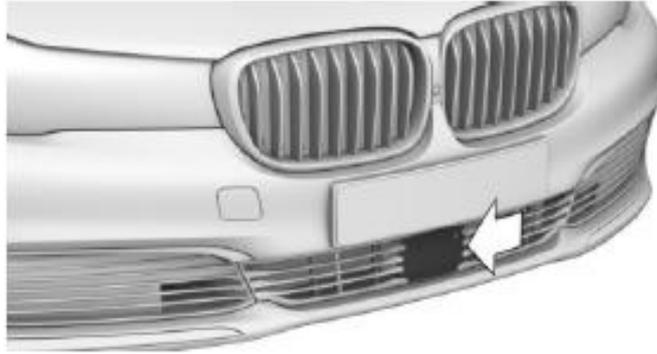


Figura 19: El sensor de radar está ubicado en la parte delantera del parachoques. Fte:(BMW AG, 2015)

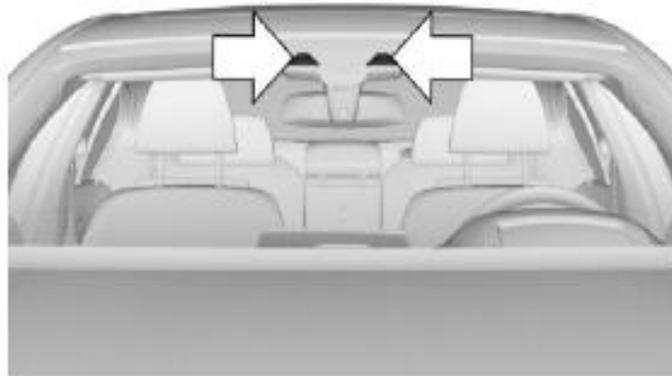


Figura 20: La cámara está instalada cerca del retrovisor interior. Fte: (BMW AG, 2015)

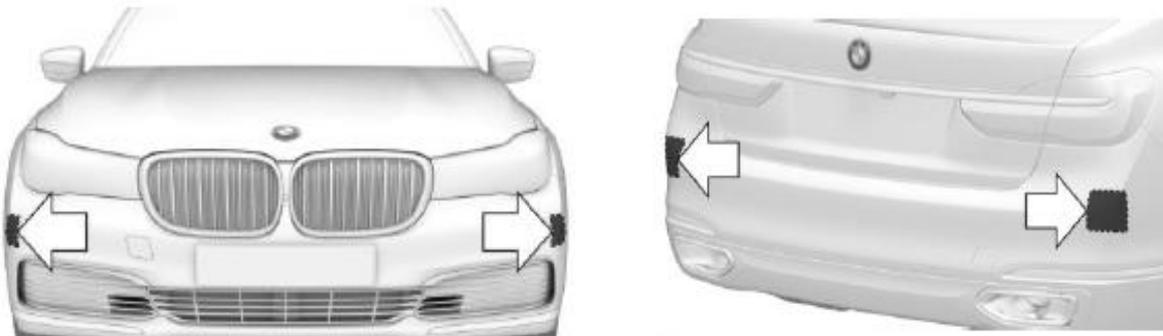


Figura 21: Sensores en parachoques frontal y trasero. Fte: (BMW AG, 2015)

El sistema de conducción automatizada es capaz de percibir a través de los sensores con un proceso de identificación y vectorización que le permite prescribir el carril por el que circula y los vehículos u objetos situados delante del mismo y así mismo actuar sobre el control del vehículo.

El Asistente de mantenimiento de carril activo proporciona capacidad de conducción semiautomática al iniciar intervenciones correctivas de dirección para ayudar al conductor a mantener el vehículo en el centro del carril. En el tráfico de inicio-parada el sistema usa el vehículo de delante como un punto de referencia adicional.

El sistema utiliza la unidad de cámara para “leer” las marcas viales que señalizan el carril. También, se apoya en la unidad de radar y en los sensores de ultrasonidos para detección de los vehículos y elementos que están presentes en la vía.

Durante la realización de la prueba número 1 con un total de 5,4 kilómetros de vía recorridos aproximadamente, se ha ido registrando las cesiones de control y registro del sistema, en conjunto con las variables surgidas debido a las características de la vía, del entorno y del desempeño de la circulación. Analizaremos las distintas variables comparando los casos en que se ha mantenido el control por parte del sistema con los que no, buscando posibles correlaciones que permitan comprobar la validez de la hipótesis de partida.

7. Instrumentación.

Vehículo:

En la toma de datos hemos utilizado un vehículo de la marca BMW, modelo 520d de 2017.

El vehículo está equipado con el paquete extra “Driving Assistant Plus”. Entre los principales sistemas que incluye son:

- Control de crucero adaptativo.
- Asistente de dirección.
- Asistente en atascos.
- Asistente de cambio de carril.
- Asistente anti-salida de carril.
- Protección activa contra colisión lateral.
- Prevención de colisión.
- Asistente de evasión frente a choque.
- Detección de señales de tráfico.

Dispositivo de medida:

1. Cámara GARMIN VIRB Elite:

- Cámara de vídeo digital.
- Sensor CMOS; tamaño 1/2.3"; resolución 16 Megapíxel.
- Grabación de video en alta definición HD de hasta 1920x1080p y entre 30 y 60 fotogramas por segundo.
- Antena GPS incorporada 10 Hz.
- Grabación de video en formato .mp4.
- Grabación de ruta en formato. gpx con registro de tiempo y posición para cada segundo.



Figura 22: Cámara GARMIN VIRB Elite, dispositivo de anclaje.

2. Cinta Métrica Ace de 8m/ 25 pies de longitud.



Figura 23: Cámara GARMIN VIRB Elite, dispositivo de anclaje y cinta métrica.

8. Tramos de Red Viaria Urbana de Estudio.

El tramo para la primera prueba de circulación corresponde a varios segmentos de la Avenida Tarongers hasta la Av. Dels Germans Machado, en condiciones reales de tráfico, verificando el Asistente de mantenimiento del carril activo (LKA) a través de una serie de recorridos.

- Tipo de vía: Urbana.
- Sentido de circulación: Ida y Vuelta. (Noreste y Suroeste)



Figura 24: Plano situación secciones transversales.

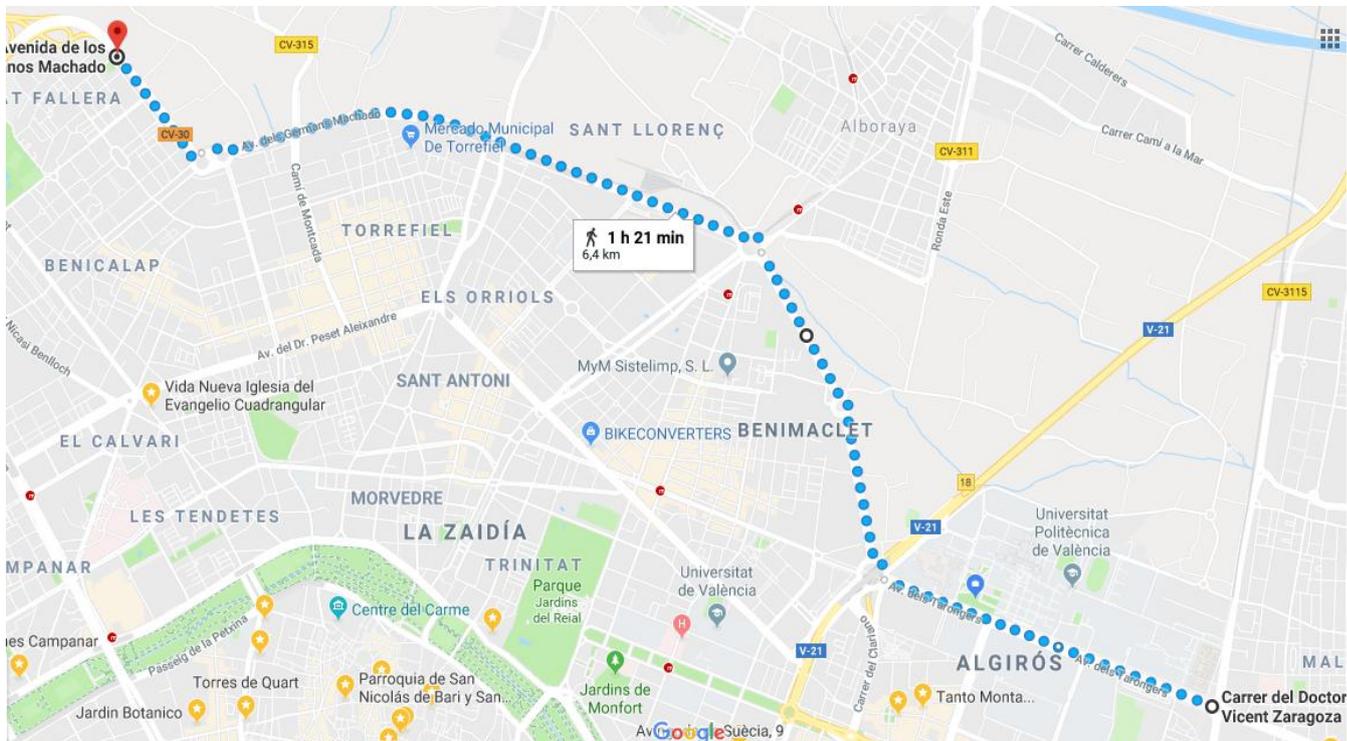


Figura 25: Red Viaria Urbana de Estudio.

Para la segunda prueba de circulación, se establecieron 3 trayectos piloto dentro de áreas urbanas correspondientes a la zona de Benimaclet en la ciudad de Valencia, en una cantidad de recorridos establecidos, para la detección de los perfiles de señalización de STOP.

Los recorridos fueron realizados en horario diurno en óptimas condiciones climáticas y de tránsito para obtener mayor fluidez en el recorrido, cada recorrido comienza con la numeración establecida para cada señal de Stop desde el 1 hasta la cantidad de señales seleccionadas.

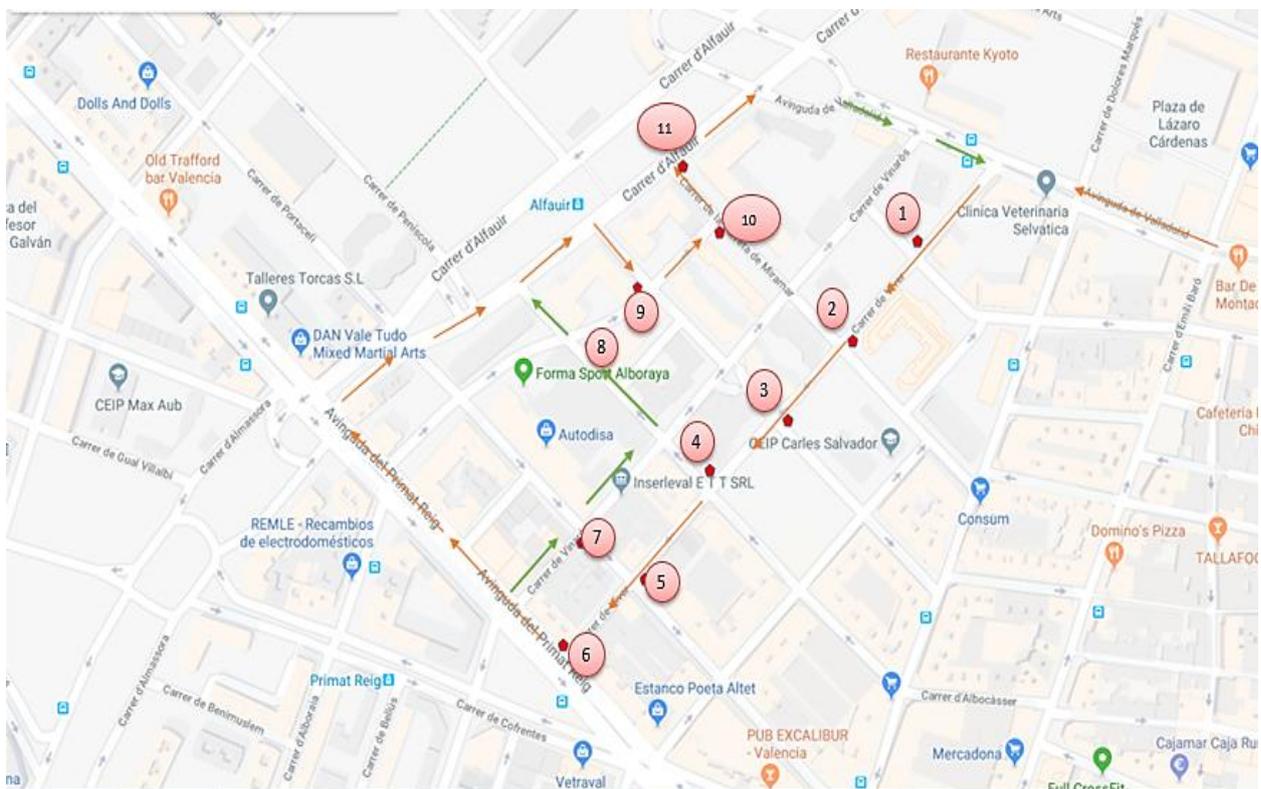


Figura 26: Ruta Piloto 1 para Prueba de detección de Stops.

8.1 Toma de Datos de Ancho de Carriles.

Se obtuvieron las medidas de Ancho de Carriles en los siguientes segmentos de la vía urbana, nótese la línea amarilla señala donde se efectuó la toma de datos, para ambos sentidos de circulación de la vía.



Figura 29: Tramo A1: Sección Av. Tarongers.



Figura 30: Tramo A2: Sección Av. Tarongers (b).



Figura 31: Tramo A3: Sección Boulevard Perifèric Nord.



Figura 32: Tramo A4: Sección Boulevard Perifèric Nord (b).

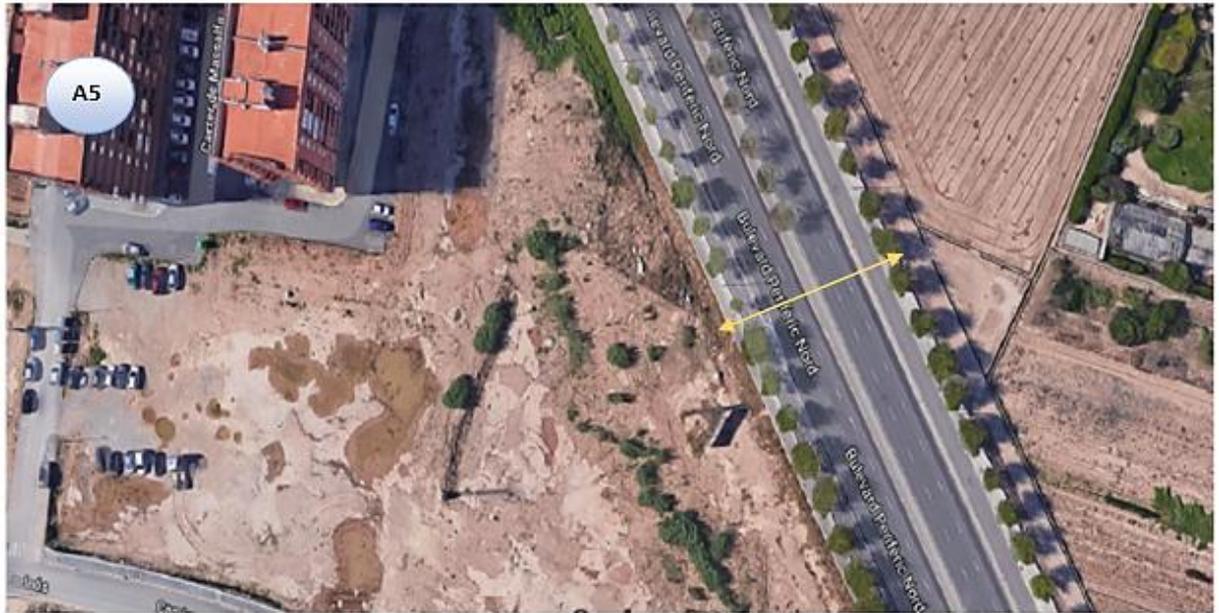


Figura 33: Tramo A5: Sección Boulevard Perifèric Nord (c).

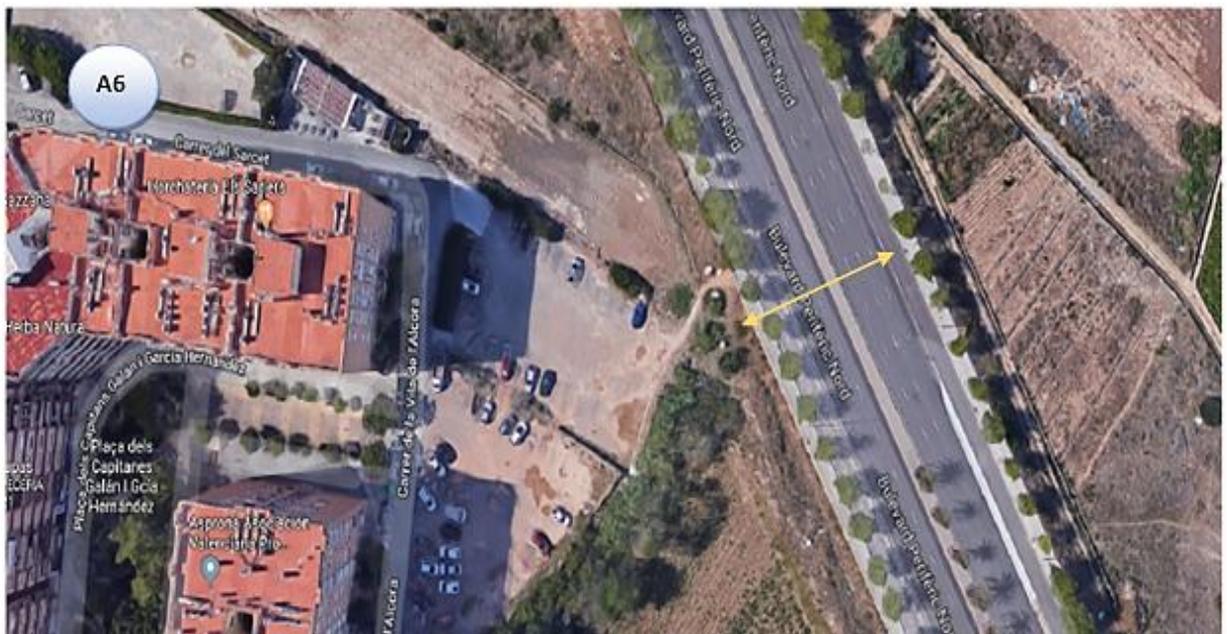


Figura 34: Tramo A6: Sección Boulevard Perifèric Nord (d).



Figura 35: Tramo A7: Sección Germans Machado.

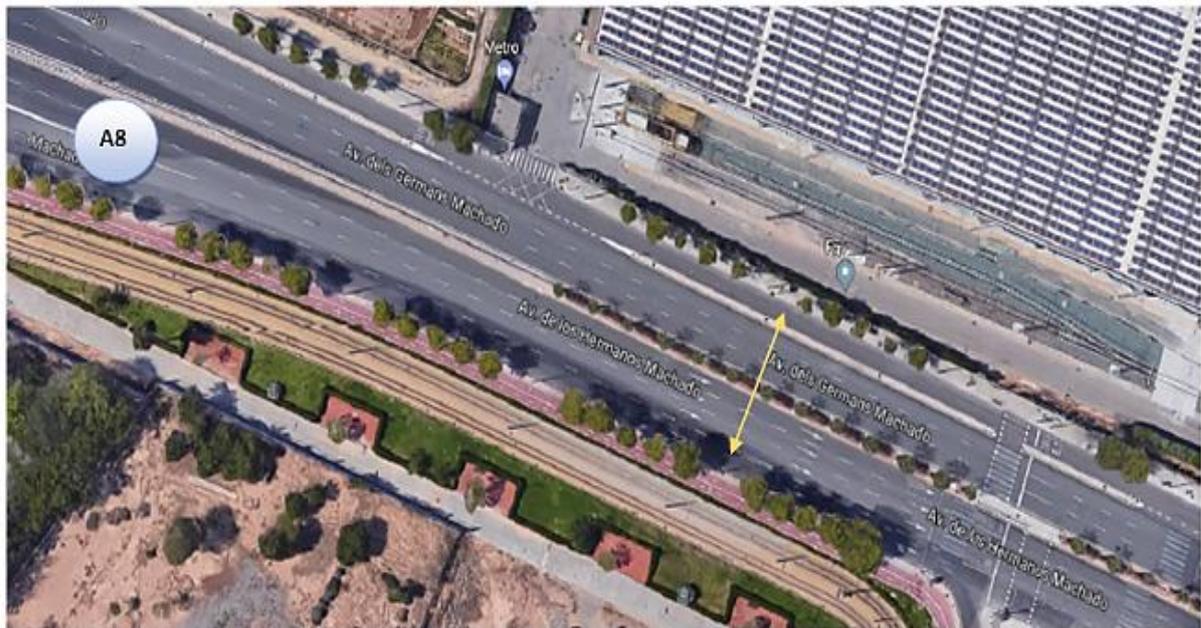


Figura 36: Tramo A8: Sección Germans Machado (b).



Figura 37: Tramo A9: Sección Germans Machado (c).



Figura 38: Tramo A10: Sección Germans Machado (d).



Figura 39: Tramo A11: Sección Germans Machado (e).



Figura 40: Tramo A12: Sección Germans Machado (f).

Los datos de anchuras tomados fueron procesados y tabulados por sección en el formato mostrado a continuación para cada tramo, las medidas van desde el carril izquierdo (1) de cada calzada hacia el exterior numerados (2,3, etc.). Para cada sección de medida se realizaron 10 recorridos para obtener finalmente el porcentaje de mantenimiento de control automático del carril.

SECCIÓN de MEDIDA	CALZADA (Este/Oeste)	CARRIL (izq=1;2;3;4;5)	ANCHURA (cm)	LKA (Si=1; No=0)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	%
A1	O	3													
A1	O	2													
A1	O	1													
A1	E	1													
A1	E	2													
A1	E	3													

Tabla 1: Modelo de ejemplo estudio del control de carril para un tramo de vía, según su anchura.



Figura 41: Tramo A11, Carriles medidos en la vía.



Figura 42: Tramo A07, Carril interior medido en la vía.

8.2 Toma de Datos de Altura y Posición de Señalización Stop.

La señalización es el conjunto de señales y órdenes que modifican el régimen normal de utilización de la vía, destinadas a los usuarios de la vía y las cuales tiene la misión de advertir e informar a estos u ordenar o reglamentar su comportamiento con la necesaria antelación de determinadas condiciones de la vía o de la circulación en la misma.

La cámara en el área del espejo retrovisor interior detecta señales de tráfico en el borde del camino, señales de tráfico variables entre otros tipos facilitando la comparación con los datos a bordo del vehículo. El sistema toma en cuenta la información almacenada en el medio de navegación y también muestra las velocidades límite, presentes en rutas sin señales.

Como parte del sistema de seguridad activa, se debe estar consciente de que el mismo puede no ser completamente funcional y puede proporcionar información incorrecta en las siguientes situaciones:

- En niebla pesada, lluvia o nevada.
- Cuando las señales están ocultas por objetos.
- Al conducir muy cerca del vehículo en frente de ti.
- Al conducir hacia luces brillantes (encandilamiento).
- Cuando el parabrisas detrás del interior el espejo retrovisor está empañado, sucio o cubierto por una pegatina, etc.
- En caso de detección incorrecta por parte de la cámara.
- Si los límites de velocidad almacenados en el sistema de navegación son incorrectos.
- En áreas no cubiertas por el sistema de navegación.
- Si las señales de tráfico no son conformes.

El proceso de toma de datos, como se menciona anteriormente, se realizó mediante recorridos en 3 rutas piloto, con distancia y cantidad de señales variadas. El siguiente esquema detalla los datos recolectados tomando en cuenta tanto las características de la señalización como las características de las vías.

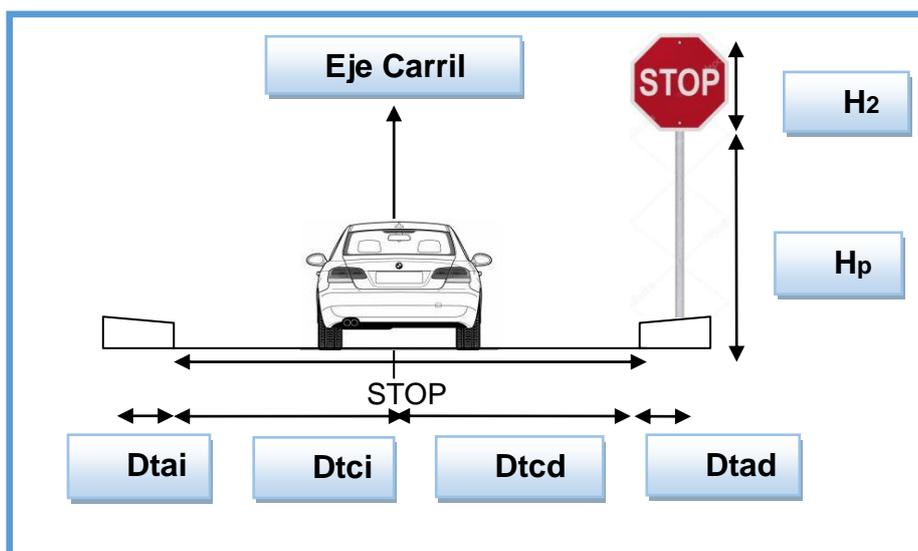


Figura 43: Croquis inicial de distribución de medidas recolectadas para la detección de Stop.

H2: Altura de Señal.
Hp: Altura de Poste.
Dtc: Distancia Anchura de Carril a Eje Carril, Izquierda o Derecha.
Dtai: Distancia Transversal Izquierda.
Dtad: Distancia Transversal Derecha.
Marca Stop Vial: Presencia de Marca Stop Vial.
TASV: Tiempo de Aviso Señal Visual.
TASA: Tiempo de Aviso Señal Auditiva.
TASV1 hasta TASA1 en segundos: Tiempo de transcurso desde Tiempo de Aviso Señal Visual hasta Tiempo de Aviso Señal Auditiva.

Tabla 2: Nomenclatura de la Figura 43.

Los datos obtenidos fueron procesados y tabulados para cada recorrido siendo grabados con la cámara de video GARMIN VIRB Elite (Figura 22), para su posterior análisis, a través de este se fueron registrando las detecciones y no detecciones en cada Stop, a lo largo de la ruta establecida.

Se registraron los tiempos desde la señalización en el cuadro de instrumentos del auto hasta el aviso auditivo que este brinda al conductor, para buscar posibles influencias en la detección.

ST OP #	Marca Stop Vial	Dtai (Distancia Trans. Izq.)	Dtad (Distancia Trans. Der.)	ALTUR A SEÑAL (H2)	ALTUR A POSTE (H1) cm	LONGITUD (Dtc) cm	Dtc + Dta	1	2	3	4	5	%
1													
2													
3													
4													
5													
6													

Detección (Si=1; No=0)

TAS V1	TAS A1	TAS V2	TAS A2	TAS V3	TAS A3	TAS V4	TAS A4	TAS V5	TAS A5	TASV1 hasta TASA1 (seg.) R1	TASV hasta TASA (seg.) R2	TASV hasta TASA (seg.) R3	TASV hasta TASA (seg.) R4	TASV hasta TASA (seg.) R5

Tabla 3: Modelo de Ejemplo para Estudio Del Control De Señales De Stop Según Altura Y Posición.



Figura 44: Señal de Stop, con Marca Vial presente.



Figura 45 : Señal de Stop de menor tamaño al estándar durante recorrido.



Figura 46: Detección de señal de Stop durante recorrido #3.

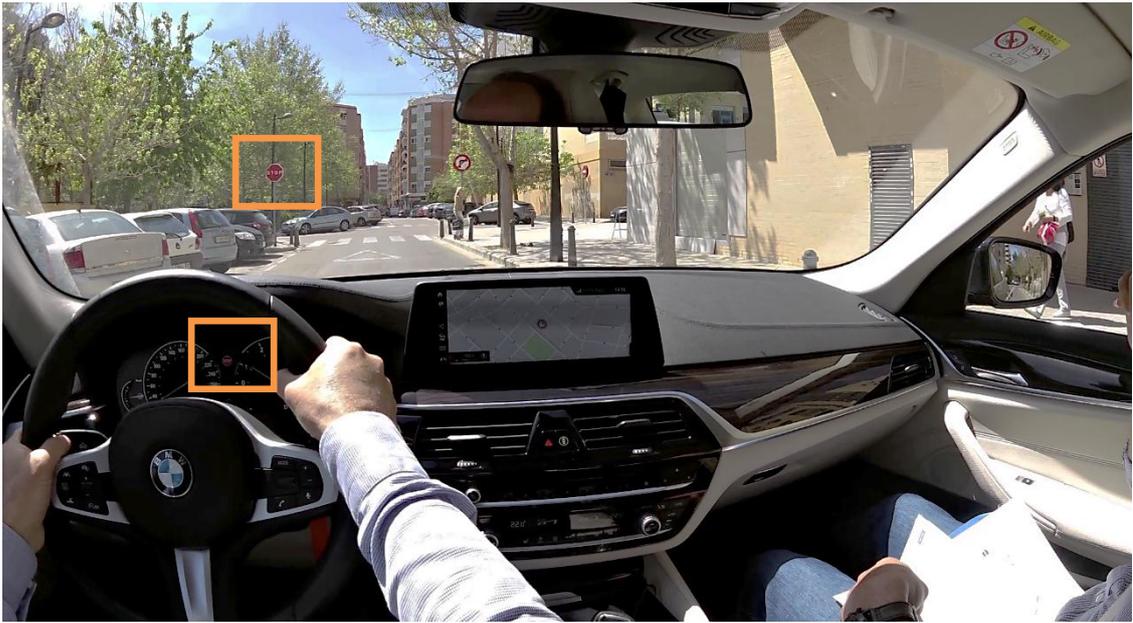


Figura 47: Detección de señal de Stop durante recorrido #1.



Figura 48: Detección de señal de Stop durante recorrido #2.

8.3. Entrevista a Concesionarios de Automóviles.

Este apartado contiene 3 entrevistas semiestructuradas con un enfoque cualitativo, el cual al ser interpretativo ofrece mayor riqueza en el análisis de los datos, flexibilidad y de observación más amplia. Cada concesionario representa una marca, esto es muy útil para desarrollar visiones sistémicas de los puntos de vista por parte de los concesionarios sobre los avances en la conducción y la circulación de coches semiautónomos en la vía.

Primeras Ventajas y Desventajas de la conducción semiautónoma o autónoma en vías urbanas.

Las percepciones agrupadas establecen que los concesionarios están conscientes de las ventajas más que de las desventajas que presentan la circulación de los coches semiautónomos:

Concesionario #1, uno establece como ventajas:

“Los vehículos de alta gama ofrecen características las cuales permiten ayudas en la conducción procurando la seguridad y comodidad, dentro de los modelos con los ADAS, ventajas como alerta de exceso de velocidad, con reconocimiento de señales de tráfico de velocidad, Alerta de cambio involuntario de carril, Alerta de distancia de seguridad, Aviso de ángulos muertos.”

Citando desventajas:

“Como toda tecnología hay fallos, no te puedo decir en un 100 % que no hay inconvenientes.”

Concesionario #2, expresa ventajas como:

“Seguridad y comodidad, ante todo, los coches que tenemos ofrecen asistencia para la conducción, lo cual complementan y facilitar la tarea, reduciendo riesgos con menos estrés para el conductor.”

Citando desventajas:

“No los consideraría como inconveniente, si hay limitaciones y es necesario conocerlas para dentro de ellas darle el mejor uso posible a las tecnologías que ofrecen nuestros vehículos.”

Concesionario #3, uno establece como ventajas:

“A ver, para mí un coche es considerado la extensión de una persona, ventajas te va a presentar muchas, pero hay mucho inconveniente que vienen con estas ventajas. No me opongo a elementos como cámara de asistencia para aparcar, espejos de mayor visión y las señales para avisos.”

Citando desventajas como:

“Estas creando una dependencia y un nivel de comodidad que pone el coche en control del conductor, no lo contrario. La tecnología falla.”

Apoyo a la circulación de los coches semiautónomos o autónomos en las vías urbanas.

Las percepciones agrupadas establecen que los concesionarios tienen sus reservas a la hora de apoyar la circulación de estos coches en vías urbanas, por ejemplo.

Concesionario #1, cita:

“Si y no, a ver, por una parte, sí porque es la forma de ver en que podemos mejorar, por otra parte, con lo rápido que avanza la tecnología es necesario que se sigan dando más pasos.”

Concesionario #2, expresa:

“Si siempre y cuando conozcas los rangos de funcionamiento del sistema.”

Concesionario #3, establece que:

“No, todavía no.”

Factores de seguridad de los vehículos o coches semiautónomo para el conductor y su circulación en vías urbanas.

Concesionario #1:

“Si lo son, es uno de los avances más grandes si lo comparas con las estadísticas de accidentes frente a los coches convencionales, ves que el aumento de esta tecnología los ha reducido los accidentes.”

Concesionario #2:

“Si, totalmente, si lo comparamos con los vehículos en años pasados, la seguridad ha aumentado en un nivel considerable, se tiene más confianza en la tecnología

Concesionario #3:

“Seguros si son, pero a ver no lo considero mayor que tenga mayor seguridad porque al final , la última decisión la tiene el que conduce , por ejemplo con el frenado, pero para mí siempre influye mucho tu habilidad y atención para conducir , que están las distracciones y muchas veces llevar muchos aparatos electrónicos , te relajan , como sensación mía estas más activo sin estos , pero ante el stress mejor que tome taxi o bus y lo que digo es que conducir no es para todo el mundo, educar sin prohibir, apoyo los test para ver si estas capacitado.”

Grado de fiabilidad de los sensores y sistemas de reconocimiento de imágenes.

Concesionario #1:

“Grado medio diría, te digo que hay un aspecto de la confianza y el exceso de esta al conducir también frente a los factores que nos quitan la atención hacia los sistemas de ayuda a la conducción. “

Concesionario #2:

“Yo te diría que un grado alto, los sensores son capaces de detectar señales de velocidad y señalización para vías de servicio, carriles de aceleración y desaceleración, solamente.”

Concesionario #3:

“Grado medio, del 1 a 5, siendo 5 el máximo le daría 3. Los sensores reconocen señales de velocidad y las registran, pero no reconoce las de Pare (Stop). El hecho de acomodar a una persona a tantas ayudas, el día que se las quites lo jodes. La dependencia de la industria es un problema. Ya los automóviles están siendo diseñados por gente que disfrutan la electrónica y no el placer de conducir.”

Funcionamiento de los sistemas de reconocimiento de personas o ciclistas, y comportamiento correcto ante condiciones climáticas como lluvia, nieve o niebla.

Concesionario #1:

“Los modelos que ofrecen sistemas de frenada con detección de peatones, pero no se puede garantizar que vaya a funcionar siempre.”

“Aquí en Valencia por las condiciones climáticas que poseemos no sabría decirte sobre dos de esas, pero varios modelos ofrecen comodidades para mejorar la conducción nocturna, tenemos un vehículo que posee sensor de lluvia.”

Concesionario #2:

“La detección es posible, pero hay que tener claro que existen rangos de funcionamiento y hay que entender como estos funcionan, por ejemplo, el asistente de frenado activo y frenado de emergencia ante retenciones puede evitar accidentes contra otros vehículos o peatones.”

“Todas ayudas en nuestros coches facilitan la conducción en varias situaciones, pero esto no quita que el funcionamiento siempre sea correcto siempre y no se presenten situaciones.”

Concesionario #3:

“Dentro de los modelos que tenemos si es posible el reconocimiento, pero yo no me fio, ambos podemos fallar, yo como persona o conductor y el coche. Me cuesta creer en que brindaremos total confianza en el coche, ante la toma de decisiones, ¿qué harías si hay un animal en la vía y no te puedes detener?, tienes que contemplar que tipo de decisiones tomara el sistema y su programación, frente a la mente del conductor.”

“Funcionamiento correcto en todo momento, no, Todo aquello que corrige una conducción o un defecto en esta con un aviso, está bien, siempre y cuando no te distraiga o te asuste, que no veas la necesidad de llamar porque no sabes cómo funciona algún elemento. Creo que es un punto de educación, pero veo que a futuras generaciones no van a querer conducir, es el mismo ejemplo con la dependencia del móvil.”

Existencia de una predisposición o mentalidad arraigada por parte de los conductores españoles, en el cual prefieren el placer de conducir sobre la independencia de un coche autónomo.

Concesionario #1:

“Creo que sí, pero depende, hay muchos conductores con muchas preguntas con respecto a la seguridad y esta el cambio de tecnología, en los años que vienen que será más evidente, pero habrá una etapa que tendrás tanto el coche convencional como los que posean ADAS circulando, influye también el marketing por parte de las casas automotrices y su presupuesto de inversión en estos sistemas, muchos solo mencionan las capacidades para carreteras y así como estas investigando esta lo urbano que necesita trabajo.”

Concesionario #2:

“Depende del momento, el conductor frente a los recorridos habituales prefiere más autonomía, más comodidad, en cuanto a viajes largos de placer, disfruta más la conducción convencional y el placer que trae.”

Concesionario #3:

“A ver, los clientes cada vez exigen más tecnología por moda, luego hablas con clientes que piden por ejemplo que tenga la caja de cambios manuales porque no quieren que el coche lo haga el mismo. Los tiempos han cambiado. En mi punto de vista, siempre pongo la importancia de la persona sobre el coche.”

8.4. Variables del Proceso.

8.4.1. Variables referentes a la configuración de carriles.

La detección de los límites del carril en las vías urbanas, presentaban dificultades o incertidumbres asociadas a la compleja estimación de la estructura geométrica de los límites de carril, la calidad de marcas de carril por el desgaste que presentan, contaminación de la pintura amarilla para carriles próximos a la acera o mediana, oclusiones por tráfico, interferencia en la posición del sol y las sombras causadas por los árboles, restando visibilidad a las capacidades de detección, al igual que las estructuras del lado de las vías o carretera, son factores que influyen a la hora del control o mantenimiento de cesiones por parte del sistema automatizado.

La mayoría de las técnicas existentes para la detección de límites de carril emplean una única señal visual y solo funcionarán bajo ciertas condiciones y donde haya marcas de carril claras. Además, se obtienen mejores resultados cuando no hay otros objetos o sombras suyas presentes en el camino.

8.4.2. Variables referentes a la detección de señalización.

Como fue verificado durante los recorridos de prueba todavía en las vías urbanas de la ciudad están presentes señales con configuraciones distintas, a las establecidas en la Norma. Los factores que pueden afectar la detección y el reconocimiento de señales de tráfico por parte de AV son:

- Incoherencias en la infraestructura de señalización.
- Señalización oscurecida.
- Iluminación variable.
- Falta de señalización.
- Mantenimiento y vandalismo.

8.5. Tratamiento de Datos.

Tras varias pruebas durante los recorridos en unos 5,4 km del trayecto, encontramos varias sesiones en las cuales el vehículo en varios casos tanto positivos como negativos en el reconocimiento de las marcas viales para los carriles, produjo cesiones o mantenimiento del control al conductor por parte del sistema semiautónomo de conducción.

Con las medidas tomadas de la anchura en cada sección de carril a lo largo del recorrido y tabulados como se muestra a continuación (

Tabla 4) para 10 trayectos sobre un carril determinado, se registraron las cesiones o mantenimientos de control con el funcionamiento del LKA (Asistente de Mantenimiento de Carril) en cada caso, todo esto bajo el dominio operacional establecido en vías urbanas con tráfico fluido, bajo condiciones meteorológicas y de visibilidad adecuadas añadiendo también la presencia de marcas viales de diferentes calidades.

ESTUDIO DEL CONTROL DE CARRIL SEGÚN SU ANCHURA															
SECCIÓN de MEDIDA	CALZA DA (E/O)	CARRIL (izq.=1;2;3;4;5)	ANCH URA (cm)	LKA (Si=1; No=0)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	%
A1	O	3	2,82	1											1
A1	O	2	2,92	1											1
A1	O	1	2,57	0,30	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0,30
A1	E	1	2,55	0,125	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13
A1	E	2	2,87	1											1
A1	E	3	2,95	1											1
A2	O	3	2,94	1											1
A2	O	2	2,89	1											1
A2	O	1	2,60	0,60	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,60
A2	E	1	2,50	0,10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10
A2	E	2	2,90	1											1
A2	E	3	2,92	1											1

A3	O	3	2,73	0								0			
A3	O	2	2,72	0,70	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0,70
A3	O	1	2,65	0											0
A3	E	1	2,71	0											0
A3	E	2	2,71	0,50	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0,50
A3	E	3	2,74	0											0
A4	O	4	2,44	0											0
A4	O	3	2,42	0											0
A4	O	2	2,36	0											0
A4	O	1	2,48	0											0
A4	E	1	2,71	0											0
A4	E	2	2,72	0,50	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0,50
A4	E	3	2,71	0											0
A5	O	3	2,7	0											0
A5	O	2	2,72	0,50	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0,50
A5	O	1	2,68	0											0
A5	E	1	2,69	0											0
A5	E	2	2,7	0,40	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0,40
A5	E	3	2,74	0											0
A6	O	4	2,44	0											0
A6	O	3	2,45	0											0
A6	O	2	2,36	0											0
A6	O	1	2,44	0											0
A6	E	1	2,66	0											0
A6	E	2	2,72	0,40	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0,40
A6	E	3	2,68	0											0
A7	O	3	2,64												0
A7	O	2	2,81	1											1
A7	O	1	2,71	0,70	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0,70
A7	E	1	2,78	1											1
A7	E	2	2,71	1											1
A7	E	3	3,59	1											1
A7	E	4	3,58	1											1
A8	O	3	2,75	1											1
A8	O	2	2,77	1											1
A8	O	1	2,72	1											1
A8	E	1	2,73	1											1
A8	E	2	2,77	1											1
A8	E	3	3,46	1											1

A9	O	4	2,38	0						0	
A9	O	2	2,75	1						1	
A9	O	1	2,69	1						1	
A9	E	1	3,49	1						1	
A9	E	2	3,80	1						1	
A10	O	3	2,80	1						1	
A10	O	2	2,86	1						1	
A10	O	1	2,81	1						1	
A10	E	1	2,7	1						1	
A10	E	2	2,72	1	1					1	
A10	E	3	2,56	0	0	0	0			0	
A11	O	5	2,66	0	0					0	
A11	O	4	2,51	0	0	0	0	0	0	0	
A11	O	3	2,49	0	0					0	
A11	O	2	2,51	0						0	
A11	O	1	2,28	0						0	
A11	E	1	2,31	0						0	
A11	E	2	2,52	0						0	
A11	E	3	2,49	0						0	
A11	E	4	2,51	0,33	1	0	0	0	0	0,33	
A11	E	5	2,70	1						1	
A12	O	5	2,67	0,57	1	1	0	1	1	0	0,57
A12	O	4	2,51	0,20	1	0	0	0	0	0	0,20
A12	O	3	2,51	0	0						0
A12	O	2	2,53	0							0
A12	O	1	2,35	0							0
A12	E	1	2,30	0							0
A12	E	2	2,53	0							0
A12	E	3	2,52	0	0						0
A12	E	4	2,53	0	0	0	0	0	0	0	0
A12	E	5	2,71	1							1

Tabla 4: Estudio Del Control De Carril Según Su Anchura.

Una vez extraídos los datos brutos, se generan los siguientes gráficos. La Figura 49: establece la distribución entre los coeficientes obtenidos para la conducción manual con las medidas de anchura de carril registradas.

El gráfico de la Figura 50 establece la distribución entre los coeficientes obtenidos para la conducción automatizada con las medidas de anchura de carril registradas.

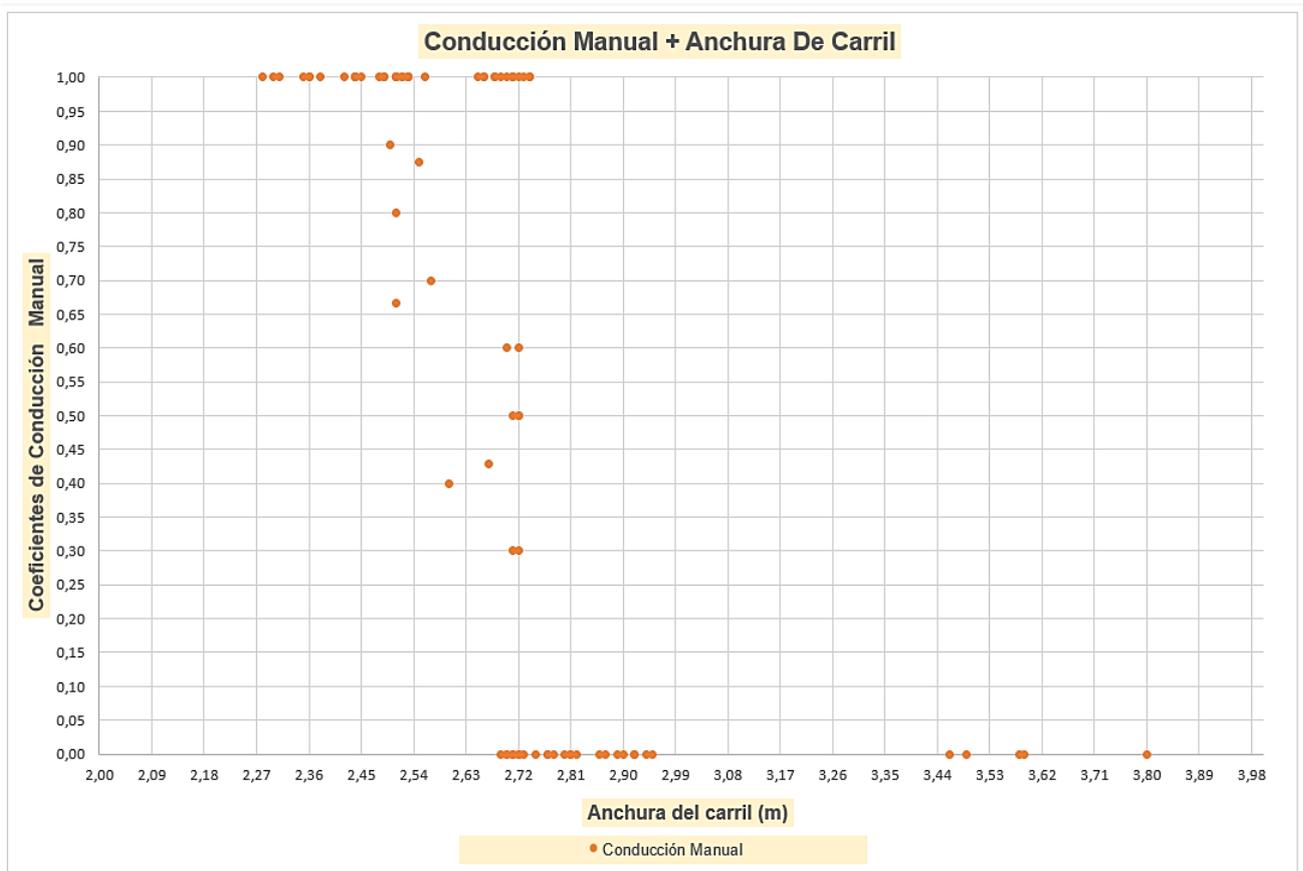


Figura 49: Relación coeficientes de conducción manual más anchura de carriles.

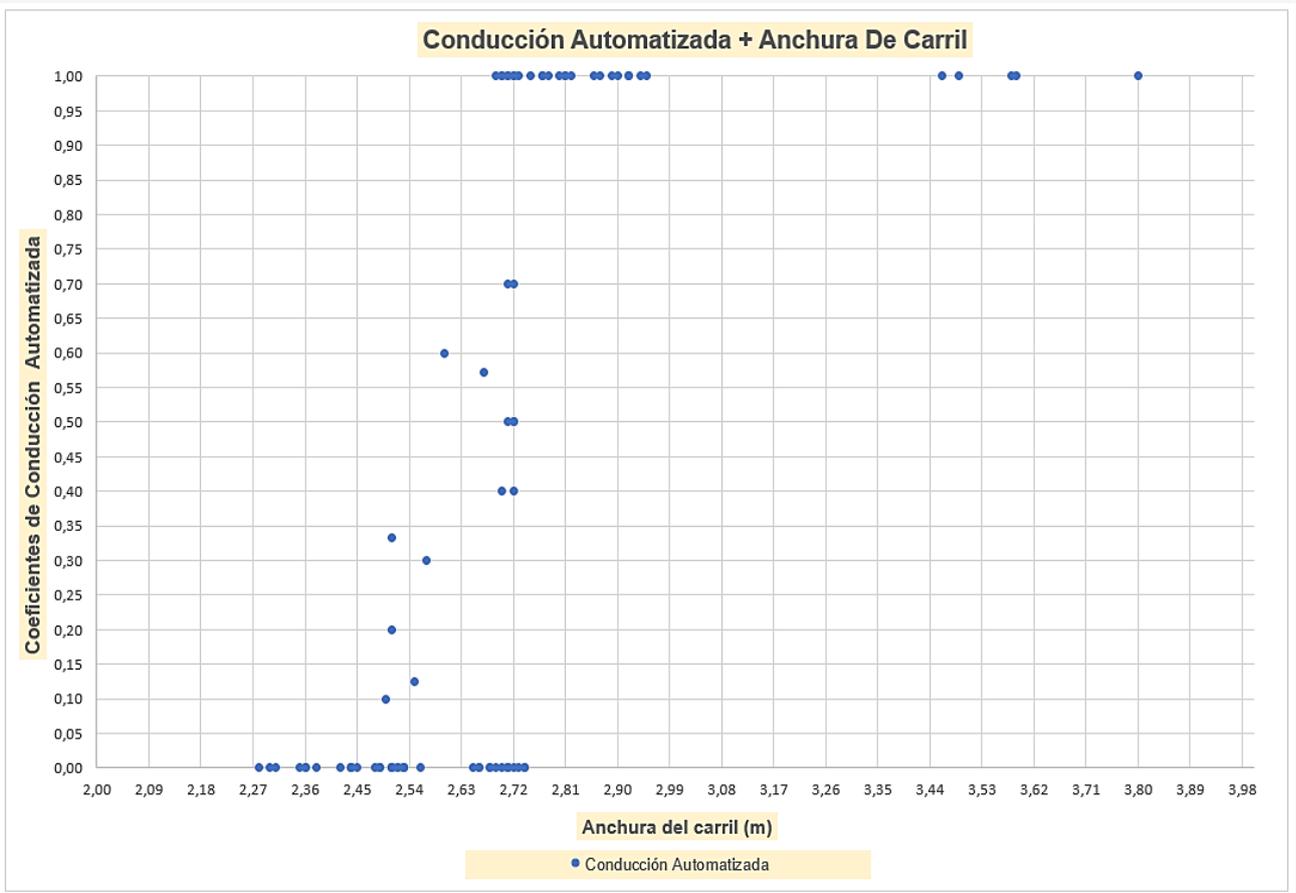


Figura 50: Relación coeficientes de conducción automatizada más anchura de carriles.

Por último, el gráfico de la Figura 51 establece la distribución entre los coeficientes obtenidos para ambos tipos de conducción comparándolos con las medidas de anchura de carril registradas.

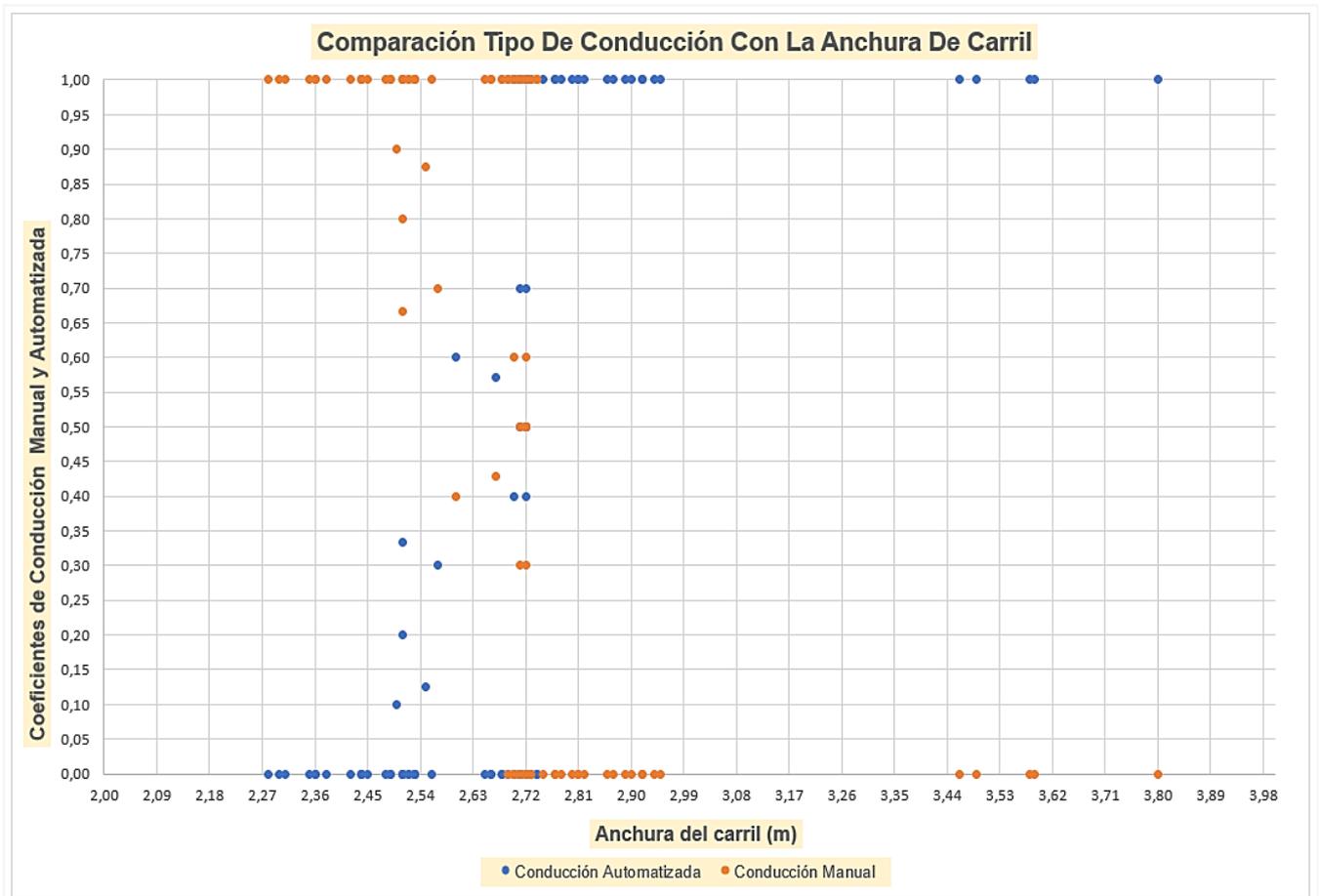


Figura 51: Comparación El Tipo De Conducción Con La Anchura De Carril, Datos en bruto.

A través de un tratamiento estadístico sencillo que consistió en promediar los coeficientes de conducción por clases de anchura de carril y agrupándolos en base a las anchuras medias, después distribuyendo estas en orden de menor a mayor (

Tabla 5).

Anchuras Medias	Conducción Automatizada Promedio	Conducción Manual Promedio
2,27	0	1
2,32	0	1
2,37	0	1
2,42	0	1
2,47	0	1
2,52	0,06	0,94
2,57	0,14	0,86
2,62	0,18	0,82
2,67	0,20	0,80
2,72	0,49	0,51
2,77	1	0
2,82	1	0
2,87	1	0
2,92	1	0
2,97	1	0
3,47	1	0
3,57	1	0
3,82	1	0
4,68	1	0

Tabla 5 : Tratamiento estadístico de los Datos.

Con los coeficientes de CA (Conducción Automatizada) y CM (Conducción Manual) agregados, volvemos a generar las nuevas gráficas Figura 52, Figura 53 asignados a las anchuras medias.

A través de estos podemos visualizar una tendencia, para encontrar la anchura de carril que tiene la misma probabilidad de facilitar la CA que la CM. También las anchuras de carril con funcionamiento solo para CA y con solo CM.

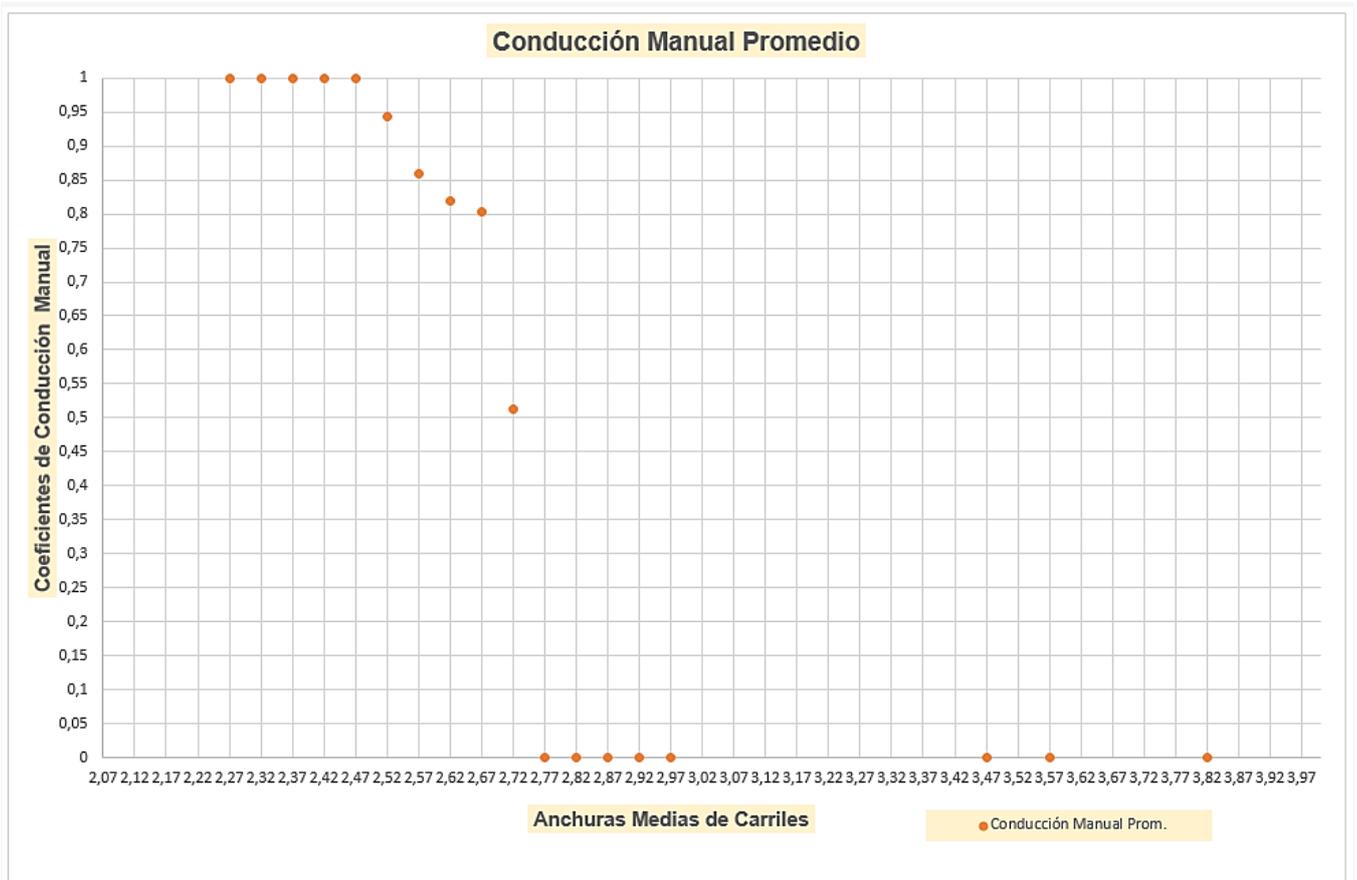


Figura 52: Relación coeficientes de CM (Conducción Manual) comparados con las Anchuras Medias de Carriles.

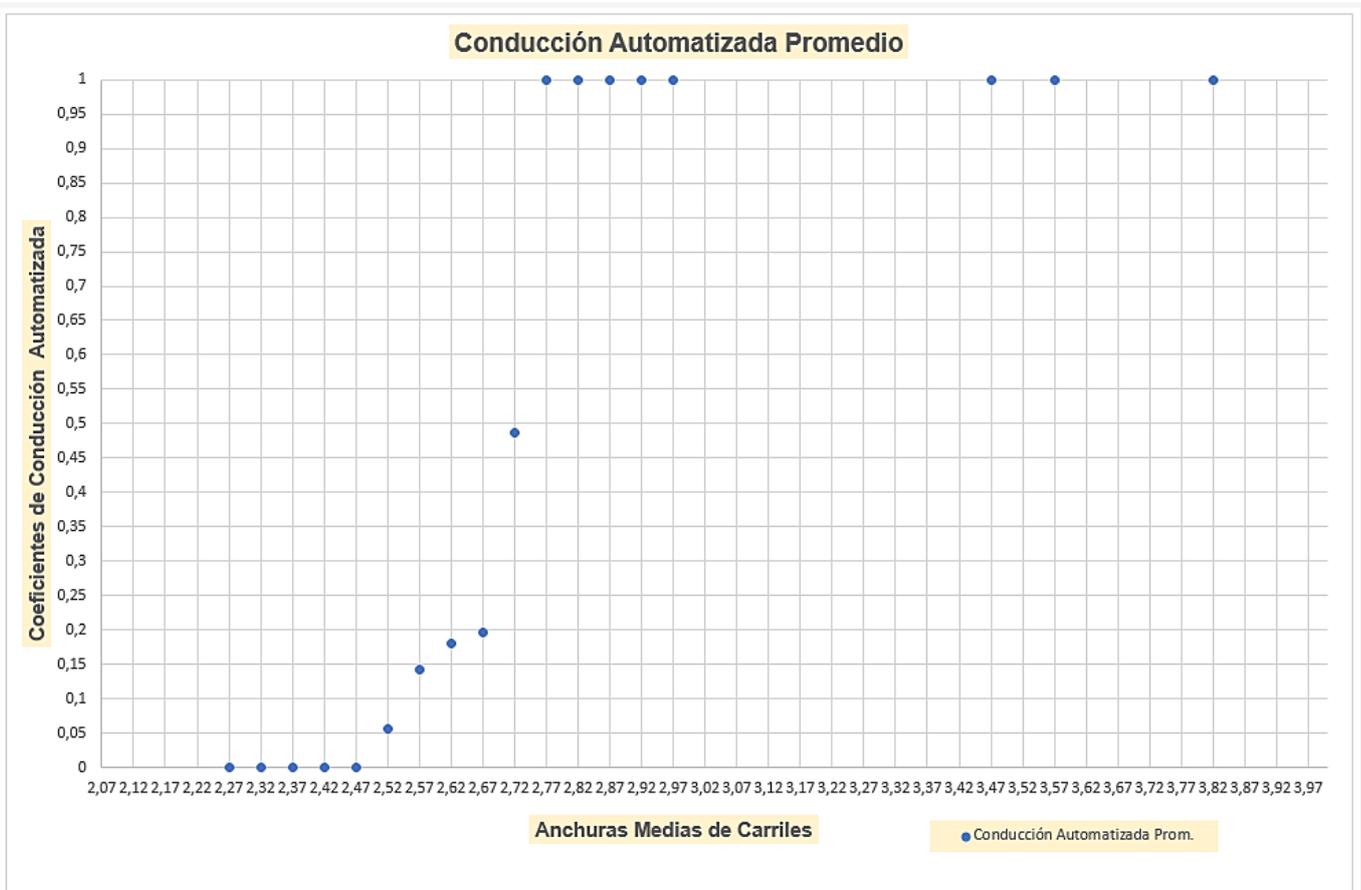


Figura 53: Relación coeficientes de CA (Conducción Automatizada) comparados con las Anchuras Medias de Carriles.

Finalizada la extracción de datos, para ambos coeficientes de conducción la gráfica final que se genera como el valor del cruce entre las dos líneas de evolución, buscando comprobar la hipótesis planteada en el apartado 4 de este trabajo, confirmando la existencia de un valor de Anchura Crítica, en la cual es posible tener ambos tipos de conducción con la misma probabilidad Figura 54.

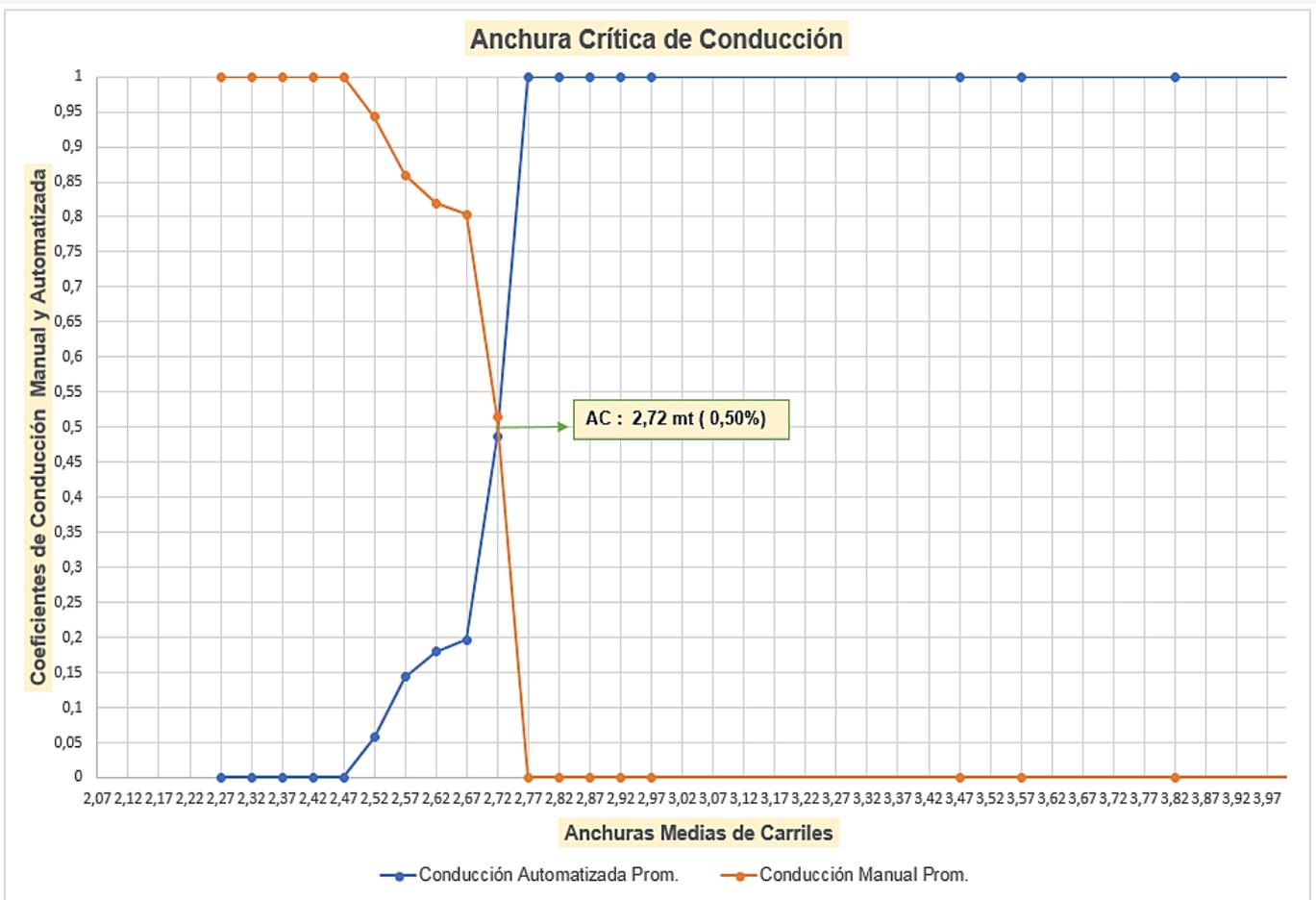


Figura 54: Anchura Crítica y Coeficientes obtenidos a partir de la relación entre los tipos de conducción y las Anchuras Medias de Carril.

La Anchura Crítica es obtenida a través de la aplicación de la ecuación de la recta para los puntos de cruce entre los valores de anchuras medias y los coeficientes de detección para un total de 4 rectas.

Para las pruebas de detección de señales de Stop en las 3 rutas piloto, se recolectaron los datos de la siguiente forma:

STOP #	Marca Stop Vial presente	Dtai (Distancia Trans. Izq.)	Dtad (Distancia Trans. Der.)	ALTURA SEÑAL (H2) cm	ALTURA POSTE (HP) m.	LONGITUD (Dtc) m.	DTF = Dtc + Dta (m)						%
								1	2	3	4	5	
1			0,95	0,60	2,40	2,85	3,80	0	0	0	-	0	0%
2		1,00		0,60	2,27	3,15	4,15	1	1	1	-	1	80%
3		0,80		0,60	2,27	2,55	3,35	1	1	1	1	1	100%
4			0,80	0,60	2,40	2,60	3,40	1	1	1	0	1	80%
5		1,40		0,60	2,37	3,50	4,90	1	1	1	1	1	100%
6			1,10	0,60	2,40	3,00	4,10	-	1	1	1	1	80%
7			0,85	0,60	2,85	3,95	4,80	-	-	-	0	0	0%
8	x		0,75	0,60	2,38	3,00	3,75	-	-	-	0	0	0%
9			0,75	0,60	2,30	2,00	2,75	0	0	-	0	0	0%
10			0,80	0,60	2,37	3,30	4,10	1	1	-	1	1	80%
11			0,80	0,60	2,85	3,00	3,80	1	1	-	1	1	80%

Detección (Si=1; No=0)

STOP #	Marca Stop Vial presente	Dtai (Distancia Trans. Izq.)	Dtad (Distancia Trans. Der.)	ALTURA SEÑAL (H2) cm	ALTURA POSTE (HP) m.	LONGITUD (Dtc) m.	DTF = Dtc + Dta (m)					%
								1	2	3	4	
12			0,60	0,60	2,26	7,80	8,40	0	0	0	0	0%
13	x	0,60		0,60	2,38	2,95	3,55	1	1	1	1	80%
14			0,80	0,60	2,12	1,71	2,51	0	0	0	0	0%
15			1,50	0,45	2,45	1,55	3,05	0	0	0	0	0%
16	x		0,85	0,60	2,20	1,75	2,60	0	0	0	0	0%
17			4,10	0,60	2,80	3,61	7,71	0	0	0	0	0%
18	x		0,58	0,60	2,37	3,6	4,18	1	1	1	1	80%
19			0,82	0,45	2,44	2,25	3,07	1	1	1	1	80%

Detección (Si=1; No=0)

STOP #	Marca Stop Vial presente	Dtai (Distancia Trans. Izq.)	Dtad (Distancia Trans. Der.)	ALTURA SEÑAL (H2) cm	ALTURA POSTE (HP) m.	LONGITUD (Dtc) m.	DTF = Dtc + Dta (m)								%
								1	2	3	4	5	6	7	
20	x		0,80	0,45	2,36	1,65	2,45	0	0	0	-	-	-	-	0%
21	x	0,90		0,45	2,40	2,65	3,55	-	-	1	-	-	-	-	20%
22	x	0,90		0,60	2,34	3,10	3,10	-	-	1	1	1	1	1	80%
23			1,60	0,60	2,26	3,56	5,16	-	-	1	0	1	0	B	20%

Detección (Si=1; No=0)

Tabla 6 : Estudio Del Control De Señales De Stop Según Altura Y Posición.

Para el tratamiento de los datos obtenidos, basados en la aproximación experimental de que puede existir una relación entre las variables analizadas y la detección de las señales, las variables presentes en los datos recolectados fueron tabulados buscando obtener cual o cuales variables dentro de cada elemento medido, sugieren una relación estadística significativa en los casos de detección y no detección de las señales de Stop.

Estas variables son:

- **Ts**: Altura de Señal.
- **Dtc**: Distancia anchura de Carril a Eje Carril, Izquierda o Derecha.
- **Dtai**: Distancia Transversal Izquierda.
- **Dtad**: Distancia Transversal Derecha.
- %: porcentaje de Detección.
- **Ht**: Altura de Poste (**HP + H2/2**).
- **Dtf**: Distancia Total Final (Dtc + Dta).
- **DV**: Distancia Visibilidad $DV = \sqrt{DTF^2 + (Hp + H2/2 - Hc)^2}$
- **Hc**: Altura de Cámara

Buscando simplificar el proceso, a la hora de la elección de las variables a analizar, estas variables fueron agrupadas y tabuladas nuevamente para así poder formular un valor para la distancia asociado a la posición del vehículo y la altura de cámara en el coche semiautónomo al momento del recorrido cuando se efectúa la detección de la señalización de Stop, este valor es (DV), con esto se elaboraron varios modelos de análisis para comprobar la tendencia de los datos obtenidos y poder establecer conclusiones preliminares.

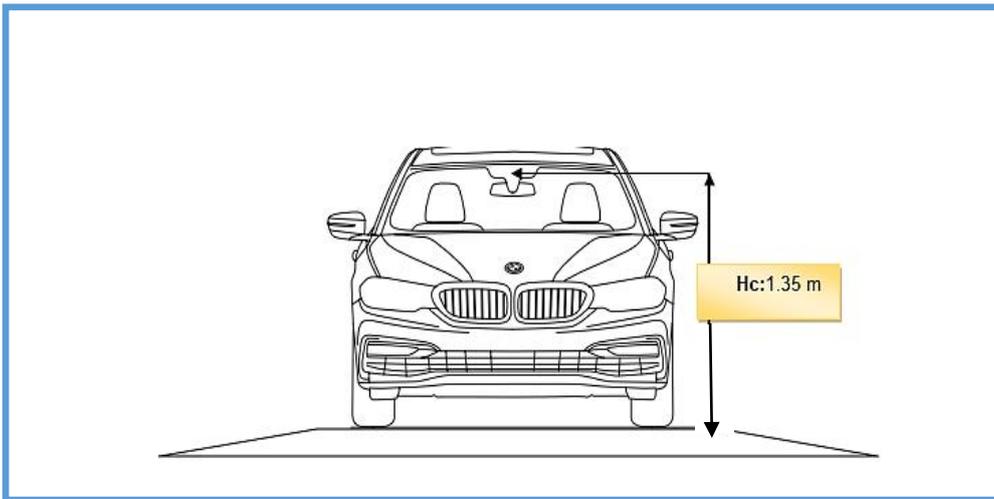


Figura 55 : Altura de la posición de las cámaras en el coche BMW 520d.

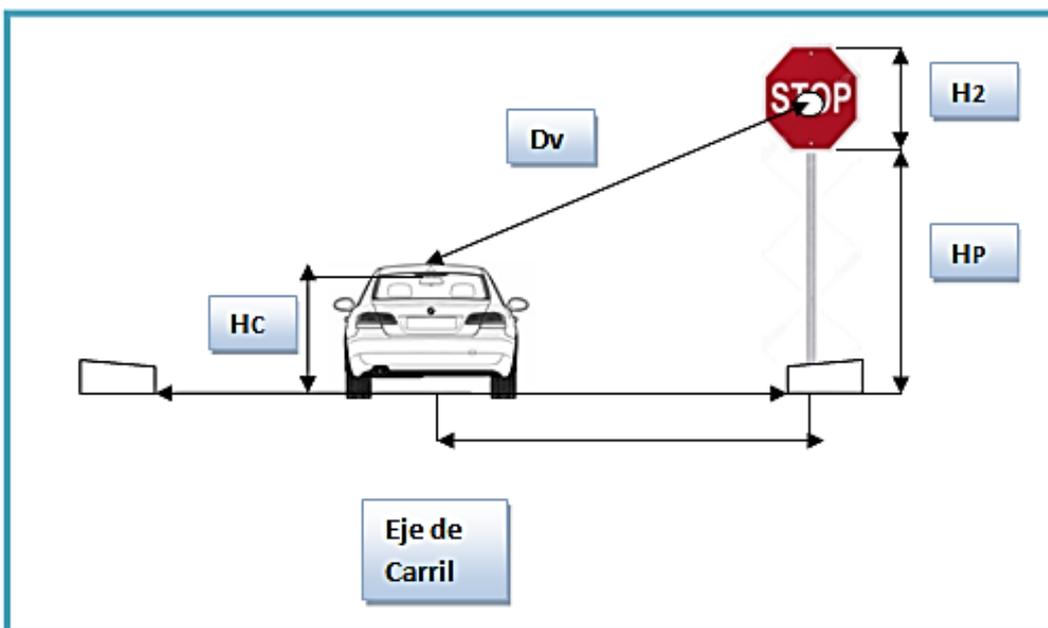


Figura 56 : Croquis Final de Medición para Señales de Stop.

A través de varias pruebas de análisis estadísticos para 4 Modelos y sus variables, con los ajustes de comportamiento por la presencia de anomalías, fue seleccionado el Modelo 1 en la (Tabla 7).

Modelo 1		
Stop	Dv.	%
1	4,03	0%
2	4,33	80%
3	3,57	100%
4	3,66	80%
5	5,07	100%
6	4,32	80%
7	5,13	0%
8	3,98	0%
9	3,02	0%
10	4,31	80%
11	4,20	80%
12	8,49	0%
13	3,79	80%
14	2,73	0%
15	3,33	0%
16	2,84	0%
17	7,91	0%
18	4,38	80%
19	3,34	80%
20	2,74	0%
21	3,77	20%
22	3,36	80%
23	5,30	20%

Tabla 7: Control de Estudio de Stop finalizado, Modelo 1, compuesto por las variables de Distancia Visibilidad con el Porcentaje de Detección.

Los datos para el Modelo 1 se procesaron en Microsoft Excel versión 2017 para Windows 8. El análisis estadístico se realizó en SPSS versión 25 para Windows.

El análisis univariado consistió en promedios y frecuencias para los datos cuantitativos. Se realizó prueba de normalidad con la prueba Kolmogoroff-Smirnov, resultando los datos con una distribución no normal. Por esta razón, se realiza el análisis con la prueba no paramétrica Mann-Whitney comparando promedios entre dos grupos, la prueba agrupa las variables en detección y no detección, buscando los promedios entre estas en base a DV (distancia de visibilidad).

Rangos				
	% Detección	N	Rango promedio	Suma de rangos
DV	1 (Si)	11	12.73	140.00
	0 (No)	12	11.33	136.00
	Total	23		

Se generaron los promedios de ambas variables frente a Detección (1) y No Detección (0). El promedio de Dv para detección fue 12.73 y para no detección, de 11.33. El valor de P (Sig. Asintótica bilateral) resultó mayor de 0.05, por lo que no hay una asociación estadísticamente significativa entre variables y no hay asociación entre el Dv y la detección de la señal.

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desviación	Mínimo	Máximo
DV	23	4.2430	1.44337	2.73	8.49
%Detección	23	1.5217	.51075	1.00	0.00

Estadísticos de prueba	
	DV
Sig. asintótica(bilateral)	.622

A pesar de no haber una asociación estadística contrastada por los resultados de la prueba no paramétrica y la distribución de los datos, estos indican una clara tendencia que nos permite comprobar la hipótesis propuesta, como puede verse a través del grafico siguiente (Figura 57).

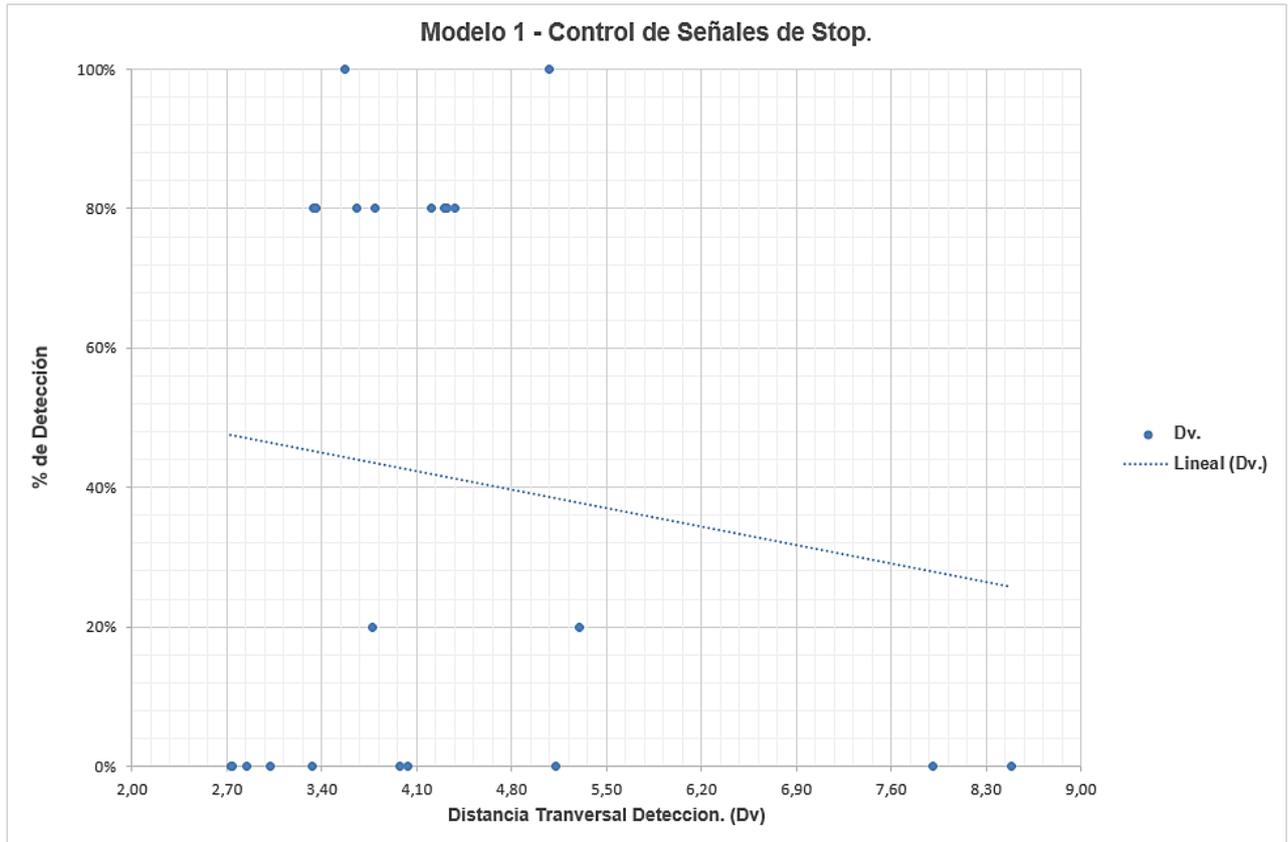


Figura 57: Gráfico de Tendencia de detección de señales de Stop.

9. Discusión.

A partir de la hipótesis expuesta, durante la realización de las pruebas, hemos observado que para cada segmento de vía donde se recolectaron las anchuras de carriles, hay anchuras por debajo de la cual el sistema no es capaz de mantener el control y lo cede al conductor.

Anchura Max. Toda Conducción Manual	Anchura Min. Toda conducción Manual	Anchura Max. Toda conducción Automática	Anchura Min. Toda conducción Automática
2,75	2,28	4,66	2,50

Tabla 8: Anchuras mínimas y máximas para conducción Automatizada y Manual.

Los resultados de las cesiones y mantenimiento de control por parte del vehículo nos inducen a la búsqueda de una Anchura Crítica, siendo este un nuevo concepto, el cual nos permitiría conocer bajo cual anchura es posible tener ambos tipos de conducción, tanto automatizada como manual, pero surge la interrogante: ¿es este valor aceptable para la circulación de vehículos autónomos en vías urbanas?

Anchura Crítica de Conducción (mt)	Detección (%)
2,72	0,50

Tabla 9: Anchura Crítica para ambas conducciones y su coeficiente.

Los datos que se han obtenido a través de las pruebas experimentales y su análisis en este estudio indican que, en la actualidad, los vehículos semiautónomos pueden ser capaces de circular en modo autónomo en vías de carretera o en el dominio operacional establecido para el que están diseñados, pero no lo hacen de manera continua bajo ciertas configuraciones de carriles (anchuras) para las vías urbanas.

Considerando que con el establecimiento de un umbral de medida o ancho de carril crítico de unos 2.72 metros, es posible permitir ambas conducciones, para un 50% en conducción automatizada y conducción manual. Es necesario tener en cuenta que los trayectos hacia el establecimiento de este umbral, hay interferencias presentes o fenómenos, los cuales pueden producir anomalías sobre los cuales no es posible ejercer un control total o parcial como:

- Incertidumbres asociadas al Lane Keep Assist System (LKA) en la detección de carriles.
- Posibles causas de interferencia en posición del sol.
- Presencia de árboles que proporcionen sombra a la vía y resten visibilidad de detección.
- Presencia de contaminación en la pintura amarilla para carriles próximos al borde de la calzada.

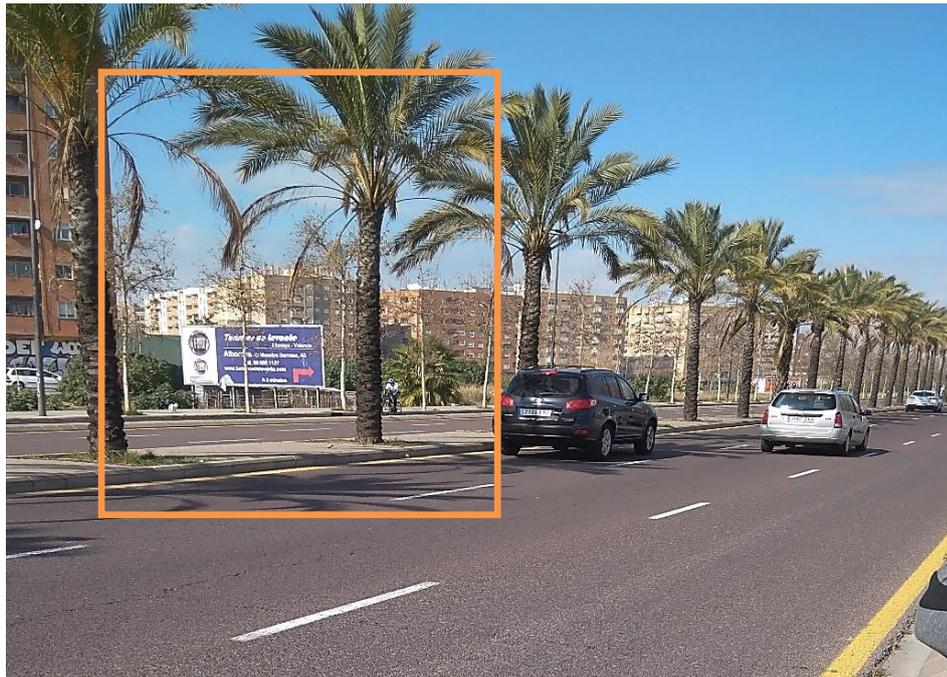


Figura 58: Tramo de vía en el cual se ejecutó mediciones con la presencia de árboles proyectando su sombra la que podrían restar visibilidad de detección.

Ningún sistema de visión artificial es perfecto. Las cesiones de control en el asistente activo para el mantenimiento del carril (LKA), se generan bajo ciertas condiciones como marcas viales en condiciones no favorables o viejas, enviando una alerta al conductor, cuando la visibilidad es limitada. Habrá alertas falsas ocasionales cuando el automóvil dice que estás a la deriva a través de un carril y todavía estás centrado correctamente. Sin embargo, esto es marcadamente mejor que hace cinco años.

Se debe tener en cuenta las diferencias entre las expectativas de los conductores, la confianza en el sistema automatizado y la estabilidad del sistema en la detección de las marcas viales para los carriles.

Las cesiones de control al conductor pueden tomar por sorpresa para el mismo y su tiempo de percepción y reacción para tomar el control es mayor, como algunas investigaciones empiezan a demostrar. Este problema de seguridad vial puede afrontarse haciendo que el conductor sepa en cada tramo de la red viaria qué nivel de conducción automatizada pueden emplear y así modificar sus expectativas para reducir el posible nivel de inconsistencia y evitar incidentes o, incluso, accidentes.

Es factible que con la existencia de dicha anchura crítica puedan realizarse más pruebas tomando en cuenta más vías urbanas, en segmentos específicos con distintas configuraciones de anchos de carril; también la aplicación del nuevo concepto de nivel de servicio para conducción automatizada (García García, Padovani Baez, & Camacho-Torregrosa, F. J.) aplicado a vías urbanas. Este nivel de servicio ha de ser previamente acreditado, para luego poder informar a los conductores, a través de señales y los navegadores a bordo.

En otro aspecto, el objetivo del estudio en la detección y reconocimiento de señales de tráfico de Stop, estableciendo que, aunque el procesamiento de imágenes desempeña un papel central en el reconocimiento de señales viales, especialmente en el análisis de colores, podemos exponer que se presentan complicaciones relacionadas con la estabilidad de la información de colores recibida, las variaciones de estos colores con respecto a las condiciones de luz diurna, el ángulo bajo del sol y el sombreado, las inconsistencias en la infraestructura de señalización, señalización dañada o desigual.



Figura 59: Señalización con evidencia de vandalismo o signos que pueden causar anomalías al momento de interacción con los vehículos AV.

La falta de uniformidad en el posicionamiento y la aplicación de las señales puede ser problemática, lo que genera incertidumbre acerca de cómo se espera que los vehículos (AV) interactúen. Cabe destacar que el vehículo semiautónomo utilizado para la prueba no detecta las marcas viales de Stop. Aunque es una configuración que no tiene utilidad actualmente, pero está presente en varias vías urbanas, para este mismo vehículo alcanza la detección de los Ceda el Paso, todos estos factores nos indican que hay mucho trabajo por hacer en el campo y se pueden lograr muchas mejoras.



Figura 60: Detección de señal de Ceda el Paso.



Figura 61: Detección de Señalización de Stop por posibles condiciones de menor luminosidad.



Figura 62: No Detección de Señalización de Stop por posibles condiciones de mayor luminosidad.

10. Conclusiones del Estudio.

En este apartado se muestran las conclusiones obtenidas durante todo el proceso de realización de este estudio y el análisis de los resultados. A partir de este estudio de investigación, se pretende aumentar el conocimiento existente en torno a la conducción de vehículos semiautónomos en vías urbanas, las características de nuestra infraestructura actual frente a la circulación de estos vehículos y posibles fenómenos de cara a la autonomía total en los años que se aproximan.

Al analizar el paso del vehículo semiautónomo por los carriles en los segmentos de vía seleccionados, podemos confirmar que:

- Sí, existe la relación en el establecimiento de un umbral de medida (anchos de carriles) y continuidad de las marcas viales, con las cesiones de mantenimiento de control al conductor por parte del sistema semiautónomo de conducción.
- El umbral de medida llamado Anchura Crítica, establece un 50% con la viabilidad técnica de posibilidad para ambas conducciones bajo un ancho de 2.72 metros.
- Los vehículos semiautónomos son capaces de circular en modo automático en el dominio operacional para el que están diseñados, pero no lo hacen de manera continua en vías urbanas. Se requieren más pruebas con un mayor número de recorridos y la investigación del comportamiento del sistema en condiciones operacionales distintas a las propuestas en este trabajo en vías urbanas.
- Se puede afirmar que la normativa actual de marcas viales presenta claros problemas para facilitar la continuidad de funcionamiento de la conducción semiautónoma, según su alcance tecnológico actual. Es necesario estudiar nuevos métodos o implementación de programas para mantenimiento y posibles modificaciones de marcas viales para evitar desconexión del sistema y al mismo tiempo favorezcan a todos los conductores.

- Es necesario estudiar el efecto, en los sistemas de guiado de los vehículos semiautónomos, de cambio climáticos, cambios de luminosidad sobre los sensores o sobre el asistente activo para el mantenimiento de Carril (LKA) en los recorridos sobre infraestructura vial.

Al analizar al paso del vehículo en circuitos de vías urbanas para detección de señales de Stop, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se observa una **tendencia entre la Distancia lateral de visibilidad y el Porcentaje de Detección** para el reconocimiento de la señalización de Stop. Por tanto, Se comprueba que a mayor separación de señal respecto a la cámara del vehículo semiautónomo menor probabilidad de detección tendrá.
- La señalización obscurecida, ya sea total o parcialmente, por otros vehículos, infraestructura del camino o vegetación debe evaluarse desde una perspectiva de tecnología audiovisual y debe abordarse para garantizar que sea posible una detección adecuada.
- El material retro reflectante degradado también afectará la capacidad del AV de leer una señal bajo distintas condiciones de luminosidad.
- Es necesario implementar la estandarización en las configuraciones de señales de Stop, factores como tamaño, mantenimiento, configuración o la falta de uniformidad en el posicionamiento para evitar complicaciones en la forma en que los AV leen las señales de tránsito. **No hay una normativa europea** que homologue los códigos de circulación y la señalización, más allá de la Convención de Viena, teniendo en cuenta los nuevos vehículos automatizados.

11. Futuras líneas de Investigación.

El estudio llevado a cabo en este Trabajo de Fin de Máster se configura como el primer paso para la comprobación de desempeño de circulación de vehículos semiautónomos en vías urbanas en la ciudad de Valencia, España. En este se estudian dos áreas de funcionamiento del sistema que deben ser esenciales para el objetivo a futuro de circulación de vehículos autónomos en nuestras vías públicas.

Existen varios campos en los que es posible profundizar en el análisis de la conducción semiautónoma en vías urbanas, estableciéndose las siguientes futuras líneas de investigación:

- Desarrollo e implementación de modelos para detección de anchos de carriles y recorridos en vías urbanas con otros modelos de vehículos semiautónomos.
- La posible utilización de los datos para ampliar la muestra y organizar más circuitos para detección de señales de Stop, y así obtener mayores resultados.
- Estudio de velocidades de detección y tiempo de aviso para la detección de señales en distintos sistemas de conducción semiautónoma.
- Pruebas o comparaciones del funcionamiento del sistema bajo distintas condiciones meteorológicas o fenómenos asociados a la intensidad de luz, que puedan dificultar a los sistemas de AV.
- Propuestas para analizar respuestas de los sistemas de sensores de vehículos semiautónomos en nuevos escenarios en vías urbanas (interacción bajo distintos niveles tráfico, circulación de peatones y ciclistas).
- Pruebas y propuestas de mejoramiento del sistema de marcas viales implementado en las vías urbanas, como maximizar la continuidad de estas para favorecer el guiado automatizado.

12. Conclusión.

Una vez realizado el presente Estudio enmarcado como Trabajo Fin de Máster, se ha abordado un tema de actualidad que afectará al desempeño de áreas importantes de nuestra profesión.

Con el trabajo realizado y debidamente recogido en este documento, se consideran cumplidos los objetivos pretendidos por el presente estudio. En él se han dado pasos primarios para el estudio de la conducción semiautónoma en vías urbanas. Detallando posteriormente la metodología seguida, así como los resultados obtenidos. Finalmente se han comprobado las dos hipótesis planteadas y el estableciendo de las conclusiones correspondientes, así como se han propuesto diversas líneas futuras para seguir investigando sobre la conducción semiautónoma en vías urbanas, con lo que se da por concluido el presente Trabajo Fin de Máster.

Valencia, a 13 de junio de 2018.

Erick Miguel Marte Collado

13. Referencias bibliográficas.

- 20MINUTOS.ES. (2018). La DGT y Mobileye se unen para mejorar la seguridad vial a través de la tecnología Ver más en: <https://www.20minutos.es/noticia/3227778/0/dgt-mobileye-tecnologia-coches-autonomos/#xtor=AD-15&xts=467263>.
- Benenson, R., Fraichard, T., Parent, M., Benenson, R., Fraichard, T., & Parent, M. (2008). Towards urban driverless vehicles To cite this version : HAL Id : inria-00115112.
- Beomjun Kim, Dongwook Kim, Kyuwon Kim, and K. Y. (2015). High-level Automated Driving on Complex Urban Roads with Enhanced Environment Representation, (Iccas), 516–521.
- BMW AG. (2015). BMW Driving Assistant Guide OWNER'S MANUAL.
- Campbell, M., Egerstedt, M., How, J. P., & Murray, R. M. (2010). Autonomous driving in urban environments: approaches, lessons and challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1928), 4649–4672. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0110>
- Chris Urmson, Joshua Anhalt, D. B. (2008). Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge. *J. Field Robotics*, 25(June), 425–266. <https://doi.org/10.1002/rob>
- Cosgun, A., Ma, L., Chiu, J., Huang, J., Demir, M., Anon, A. M., ... Al-Stouhi, S. (2017). Towards full automated drive in urban environments: A demonstration in GoMentum Station, California. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, (Iv), 1811–1818. <https://doi.org/10.1109/IVS.2017.7995969>
- Fang, L., & Wang, X. (2017). Lane Boundary Detection Algorithm Based on Vector Fuzzy Connectedness, 634–645. <https://doi.org/10.1007/s12559-017-9483-3>
- Fernando, S., Udawatta, L., Horan, B., & Pathirana, P. (2014). Real-time Lane Detection on Suburban Streets using Visual Cue Integration, 1–20. <https://doi.org/10.5772/58248>
- García García, A., Padovani Baez, P. V., & Camacho-Torregrosa, F. J. (2017)

- Influencia de la infraestructura de carreteras en la velocidad de los vehículos automatizados. *CA Carreteras /*, (216), 52-61.
- García García, A., Padovani Baez, P. V., & Camacho-Torregrosa, F. J. (2017). Mejoras en el diseño de marcas viales para aumentar la eficacia de los vehículos automatizados, (RUTAS 173 Octubre-Diciembre 2017. Págs 5-12. ISSN: 1130-7102).
- Godoy, J., Pérez, J., Onieva, E., Villagrà, J., Milanés, V., & Haber, R. (2015). A driverless vehicle demonstration on motorways and in urban environments. *Transport*, 30(3), 253–263.
<https://doi.org/10.3846/16484142.2014.1003406>
- Huang, A. S. (2010). Lane estimation for autonomous vehicles using vision and lidar, 114. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1925776>
- Huggins, R., Topp, R., Gray, L., Piper, L., Jensen, B., Isaac, L., ... Somers, A. (2017). *Assessment of key road operator actions to support automated vehicles. Transport Reserach International Documentation TRID*. Retrieved from <https://trid.trb.org/view/1471211>
- Joshué, P., Vicente, M., De Pedro, T., & Ljubo, V. (2011). Autonomous driving manoeuvres in urban road traffic environment: A study on roundabouts. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 18(PART 1), 13795–13800. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.00423>
- Kim, B., Kim, D., Kim, K., & Yi, K. (2015). High-level automated driving on complex urban roads with enhanced environment representation. *ICCAS 2015 - 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems, Proceedings*, (Iccas), 516–521.
<https://doi.org/10.1109/ICCAS.2015.7364973>
- Kohlhaas, R., Schamm, T., Lenk, D., & Zollner, J. M. (2013). Towards driving autonomously: Autonomous cruise control in urban environments. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, 116–121.
<https://doi.org/10.1109/IVS.2013.6629457>
- Møgelmoose, A., Trivedi, M. M., & Moeslund, T. B. (2012). Vision-Based Traffic Sign Detection and Analysis for Intelligent Driver Assistance Systems: Perspectives and Survey, 13(4), 1484–1497.
- Wen, L. H., & Jo, K. H. (2017). Vehicle localization and navigation on region with disappeared lane line marking. *SII 2016 - 2016 IEEE/SICE*

International Symposium on System Integration, 792–796.

<https://doi.org/10.1109/SII.2016.7844096>

Wietholt, T., & Harding, J. (2016). Influence of Dynamic Traffic Control Systems and Autonomous Driving on Motorway Traffic Flow. *Transportation Research Procedia*, 15, 176–186.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.06.015>