

Mejoras en el diseño de marcas viales para aumentar la eficacia de los vehículos automatizados



Design improvements of road markings in order to enhance the effectiveness of automated vehicles

Francisco Javier Camacho-Torregrosa

*Profesor Ayudante Doctor
Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras
Instituto del Transporte y Territorio
Universitat Politècnica de València*

Alfredo García García

*Catedrático de Ingeniería de Carreteras
Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras
Instituto del Transporte y Territorio
Universitat Politècnica de València*

Pedro Vinicio Padovani Baez

*Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras
Instituto del Transporte y Territorio
Universitat Politècnica de València*

Resumen

La circulación de coches semiautónomos por las carreteras, basada principalmente en el guiado de las marcas viales mediante procesamiento digital de imágenes, requiere un estudio de las mismas para diagnosticar posibles problemas de control asociados a limitaciones de los diseños de marcas viales, pensados para la conducción humana. Para ello, se han realizado observaciones a lo largo de autovías y se concluye que la normativa vigente de marcas viales presenta limitaciones para facilitar la continuidad de funcionamiento de la conducción semiautónoma, al disponer huecos sin marca vial discontinua longitudinal en entradas y salidas, y en aumentos y pérdidas de un carril. Las propuestas que se incluyen suponen la eliminación de los huecos, siguiendo los patrones de señalización horizontal de muchos países, para favorecer la continuidad de guiado y se corresponden con medidas de bajo coste, que requieren la adaptación de la Instrucción de marcas viales.

Abstract

Driving semi-autonomous cars around the roads, mainly based on the guiding road markings by using digital image processing, requires a research to diagnose potential control problems associated with the limitations of road marking designs, intended for human driver.

Therefore, taking into account the remarks made along the highways we can conclude that the existing regulation related to road markings has constraints regarding the need to ensure the continuous functioning of semi-autonomous driving, as there are discontinuous longitudinal spaces without road markings at entrances and exits, and where adding or losing a lane.

The included proposals lead to the elimination of these gaps, following the horizontal signaling patterns from many countries, to promote the continuity of guidance, furthermore these are low cost measures which require an adapted regulation on road markings.

1. Introducción

Los últimos avances en automatización de los vehículos han llegado a un nivel de desarrollo que ha permitido pasar de los sistemas de seguridad activa a los sistemas semiautónomos y autónomos de conducción. En la red viaria se encuentran ya circulando vehículos automatizados (AV), tanto realizando pruebas de experimentación por parte de los fabricantes, como manejados por sus propios conductores. Si bien las pruebas se llevan a cabo en itinerarios o ámbitos autorizados, los coches automatizados vendidos pueden circular por toda la red. En la actualidad su número es reducido, pero previsiblemente su número aumentará en pocos años y la automatización será incorporada por todas las marcas y en todos los modelos.

A medida que se desarrollen estas tecnologías, la dependencia de estos vehículos respecto de la intervención humana será cada vez menor. Un vehículo totalmente autónomo deberá ser capaz de evolucionar por una carretera sin la presencia humana, detectando todo su entorno y adaptándose a él, aunque requiere un dominio operacional, es decir, un conjunto de condiciones que se deben dar para que sea de aplicación un determinado sistema automático en la conducción. Entre las condiciones, se incluyen determinadas características de la vía, del tráfico o ambientales; la localización del vehículo; el rango de velocidades; la posición y postura del conductor; etc.

Un sistema semiautónomo de conducción es capaz de tomar el control del vehículo, dentro de un dominio operacional dado, de forma continua y sostenida en el tiempo, pero necesita de la presencia activa de un conductor que supervise y colabore en la operación, tomando el mando del vehículo ante cualquier incidencia que él o el sistema consideren. Se corresponde con los niveles de automatización 2 y 3 del SAE J3016. La escala de niveles de automatización, que define SAE International y que está siendo adoptada por la mayoría de los países, comprende seis niveles, desde el nivel 0, correspondiente a la conducción exclusivamente manual, hasta el nivel 5, con una conducción totalmente automatizada. Los coches actualmente en el mercado alcanzan el nivel 2, e, incluso, el nivel 3 en ciertos dominios operacionales muy controlados, como autopistas con una buena geometría. Se trata, por tanto, de vehículos que facilitan la conducción semiautónoma.

La conducción semiautónoma requiere la presencia y la supervisión continua del conductor, para estar en condiciones de asumir el control de forma rápida. Para ello, se requiere una interface entre el sistema y el conductor (Human-Machine Interface, HMI) que advierta de forma eficaz al conductor cuando precisa su intervención. Ante la mínima confusión del sistema semiautónomo, se produce la cesión del control al conductor. Sin embargo, los sistemas semiautónomos actuales presentan un desarrollo muy temprano, derivando en cesiones frecuentes al conductor.

Por ello, y con el fin de no generar molestias, el HMI no incluye suficientes y eficaces avisos. Esto provoca el efecto contraproducente de que los tiempos de respuesta de los conductores aumenten y el riesgo sea mayor (Dogan et al., 2017; Shen y Neyens, 2017).

Las nuevas y cada vez mayores capacidades de los vehículos automatizados hay que confrontarlas con la capacidad técnica de la infraestructura actual de la carretera. Las carreteras presentan una geometría que condiciona la velocidad que se puede practicar y las visibilidades disponibles; así como de sistemas de señalización y balizamiento, de sistemas de contención y de pavimentos. Estos son los ámbitos principales que dan la capacidad técnica a la infraestructura viaria, pero fueron concebidos para la conducción humana, debiendo ahora adaptarse a esta nueva forma de conducción sin perder la compatibilidad con niveles inferiores de automatización.

Respecto a la señalización horizontal, la norma de aplicación en España ha sido la Instrucción 8.2-IC de 1987 (Ministerio de Fomento), siendo las marcas viales longitudinales las que facilitan la delimitación de los carriles de circulación. Para los vehículos automatizados, estas marcas viales longitudinales pasan a desempeñar una función primordial de guiado, mucho más trascendente que para la conducción humana. Los patrones de diseño de estas marcas viales establecidos en la norma estaban pensados para la conducción tradicional, por lo que podrían generar problemas localizados para los vehículos automatizados si su guiado no es suficiente.

Estas marcas viales permiten al sistema de conducción autónoma conocer el comportamiento de la carretera justo delante del vehículo, así como posicionar el vehículo sobre la misma. Para este último aspecto también se han investigado sistemas que combinan visión artificial con otros sistemas, como GPS, unidades inerciales (IMU) e incluso LiDAR, obteniendo buenos resultados. Sin embargo, el alto coste de estos sensores provoca que sean métodos hoy día inabordables para la disponibilidad general (Du y Tan, 2016a). Es por ello que la gran mayoría de esfuerzos tecnológicos están encaminados a la visión artificial.

Los sistemas de tratamiento de imagen deben procesar una inmensa cantidad de información por segundo, debiéndose hacer en tiempo real y sin posibilidad de error. A tal efecto, estos sistemas suelen comenzar recortando la información disponible y quedándose solo con un área de interés (Region of Interest, ROI), la cual es normalmente establecida en función de la velocidad instantánea del vehículo. A partir de esta imagen, diversos algoritmos descompondrán cada fotograma en matrices, siendo el sistema HSI el generalmente más empleado (Sun et al., 2006).

A partir de las anteriores matrices, se suelen aplicar algoritmos alternativos, pero con una función similar: distinguir dónde se encuentran los bordes de las diferentes texturas. Los algoritmos clásicos de detección de píxeles comparan

píxeles yuxtapuestos, mientras que algoritmos de tipo “ridge” son más avanzados y dan mejores resultados, al considerar más píxeles en la comparación (Du y Tan, 2016b).

Este proceso es crítico, pues las marcas viales pueden no estar bien conservadas, o haber borrones en la imagen o zonas de sombra. En estos casos, los algoritmos es posible que detecten bordes donde no los hay, y viceversa. Cáceres et al. (2017) propusieron una metodología para solventar este problema, basándose en un filtrado RGB y clusterizando según la intensidad, obteniendo unos buenos resultados en cuanto a que las marcas viales conseguían distinguirse de forma más continua.

A partir de la anterior información, otro algoritmo del sistema trazará una línea central por cada una de ellas. A tal efecto, a partir de la imagen visualizada, se suele emplear una restitución cónica inversa (Du y Tan, 2016a), que permite restituir en plano la imagen captada por la cámara. Sobre dicha imagen, diversos algoritmos trabajan para poder leer la información de los bordes del carril. Puesto que estos algoritmos en muchas ocasiones identifican otras marcas viales (pues suponen igualmente un borde), previamente se deben aplicar algoritmos de detección de determinados patrones, como pasos de cebrá o marcas viales de orientación. Es de hecho esta parte quizá la más crítica del proceso frente a los marcados complejos.

Además de la correcta detección de las líneas para cada una de las imágenes, es imprescindible la denominada “integración temporal” de las mismas, es decir, la información entre fotogramas consecutivos debe ser consistente (Du y Tan, 2016a), siendo la mayoría de métodos de tipo estocástico.

Para facilitar la labor de los anteriores algoritmos, existen métodos como la comparación de las marcas viales de cada uno de los bordes del carril (que, en general, deben ser paralelas). Esta metodología resulta de ayuda en zonas confusas. Du y Tan (2016b) presentaron un algoritmo basado en esta metodología y basado en detección de bordes mediante filtrado “ridge”. Aplicaron, además, procesos previos de filtrado del ruido para mejorar la precisión del resultado. El sistema que obtuvieron dio buenos resultados, si bien con las limitaciones de que detectaba como marcas viales pasos de cebrá y otra señalización horizontal (debido a que no dispusieron algoritmos como los anteriormente citados), y también el no funcionamiento del sistema en zonas de carriles no paralelos, como cuñas de transición. Obviamente, este sistema no es válido tampoco en zonas donde no está alguno de los bordes de carril pintado.

Como se ha indicado anteriormente, no solo es importante para el sistema conocer el comportamiento inmediato del carril, sino también la posición relativa del vehículo. Esta puede obtenerse directamente por la restitución inversa de la perspectiva cónica, si bien se están desarrollando algoritmos más avanzados basados en la visión estereoscópica y una cámara de apoyo (Du y Tan, 2016a). Estos autores desarrollaron en su investigación un método para

tratar adecuadamente la visión estereoscópica incluso en condiciones de baja luminosidad, pues la textura del pavimento generalmente solía suponer un problema para este tipo de sistemas.

Los casos más complejos de visión artificial suelen encontrarse cuando las marcas viales están ausentes de forma total o parcial. Wen y Jo (2016) desarrollaron un sistema para afrontar esta problemática. Clasificaron las marcas viales en tres tipos según su información al sistema de conducción autónoma: secciones con la totalidad de las marcas viales; secciones con parte de las marcas viales, y secciones sin marcas viales. La forma en la que los algoritmos de conducción autónoma procesan la información son completamente diferentes según el caso. Dichos investigadores, por ejemplo, propusieron un método basado en el análisis del gradiente de imagen para las zonas parcialmente con marca vial, y otro basado en detectar el ancho del carril que está sin marcar, en los casos con marca vial parcial o sin marcas viales. Es igualmente importante que el sistema pueda cambiar rápidamente de algoritmo según el caso.

1.1. Necesidad de la investigación

Ante la comparación de las capacidades técnicas de los vehículos semiautónomos y de la infraestructura de carreteras, la respuesta habitual está siendo que únicamente hace falta una señalización que esté en buen estado, mencionando especialmente que las marcas viales faciliten una buena visibilidad y contraste (Du y Tan, 2016a).

Teniendo en cuenta que ya se puede disponer de coches semiautónomos, surge la oportunidad de investigar de forma experimental cómo es esa interacción con las marcas viales. Se plantea la siguiente pregunta de investigación: los vehículos automatizados actuales y a corto plazo (niveles de automatización 2 y 3), ¿serán capaces de mantener el control de la conducción automatizada, basada principalmente en las marcas viales de borde del carril, ante las diversas configuraciones de las marcas viales actuales dispuestas de acuerdo a la normativa de aplicación?

1.2. Objetivos de la investigación

El objetivo de la investigación es desarrollar una aproximación experimental a la capacidad de la infraestructura viaria para acoger los sistemas semiautónomos de conducción; en particular, llevar a cabo observaciones del funcionamiento de los vehículos semiautónomos sin la intervención del conductor a lo largo de autovías con distintas configuraciones de marcas viales.

Para ello, se ha definido como hipótesis de partida que existe una correlación entre la continuidad de las marcas viales de guiado y la disminución de las cesiones de control al conductor por parte de un sistema semiautónomo de conducción.

Rutas Técnica

2. Metodología

La metodología desarrollada para esta investigación ha consistido en la conducción de un coche semiautónomo con nivel de automatización entre el 2 y el 3, manejado por un único conductor, a lo largo de autovías, con el objetivo de registrar en diversas configuraciones de marcas viales de borde de carril si el sistema mantiene el control o cede el mismo al conductor.

El coche semiautónomo empleado es un BMW 520d de 2017, equipado con el paquete "Driving Assistant Plus", que le confiere un nivel de automatización 2 a través del control de crucero activo (ACC) y el asistente activo para el mantenimiento del carril (LKA). Una vez activados ambos sistemas, habiendo seleccionado previamente la velocidad de crucero, el coche toma el control del acelerador, frenos y dirección, siendo capaz de circular solo en un mismo carril gracias a la detección de las marcas viales de borde mediante dos cámaras de video situadas detrás del espejo retrovisor interior. Desde la percepción del conductor, se podría corresponder con un nivel 3 de automatización dentro del dominio operacional de un mismo carril.

El conductor tiene que estar supervisando al sistema semiautónomo de conducción de forma continua y para ello se le requiere que esté en contacto con el volante, sin necesidad de apretarlo. Durante unos segundos puede soltar las manos, siendo avisado si transcurre cierto tiempo. Si el sistema de conducción automatizada es capaz de percibir el carril por el que circula y los vehículos u objetos situados delante en el mismo, a través de los sensores, de procesar toda la información y actuar sobre los mandos del vehículo, el sistema seguirá manteniendo el control. Si en alguna de las etapas se produce un fallo, inconsistencia o confusión, el sistema cede el control inmediatamente al conductor, sin ningún aviso acústico, pero dejando de accionar el volante.

Para el registro de todas las variables, se equipó el coche con una cámara de video Garmin Virb Elite, que graba en HD y dispone de GPS. La cámara se dispuso en un soporte junto a la cabeza del conductor para grabar simultáneamente la carretera, el mapa y la posición en la pantalla del navegador, el cuadro de instrumentos, la posición de las manos en el volante y la voz del propio conductor (Figura 1).

Se han recorrido más de 2,000 km de diversas autovías y se han realizado observaciones de localizaciones donde el sistema de conducción automatizada cedía el control al conductor debido a una pérdida de guiado por falta de continuidad de la marca vial de borde del carril. La geometría de las marcas viales correspondientes se ha obtenido mediante mediciones sobre imágenes de Google Earth.

Las variables, para cada salida y entrada limitativa para la conducción semiautónoma, han sido:



Figura 1. Grabación de recorridos con cámara de video HD

- Carretera.
- P.K.
- Conexión: entrada, salida.
- Longitud sin marca vial junto al inicio/final del carril de salida/entrada.
- Ancho del carril en el inicio de la marca vial discontinua de carril de cambio de velocidad.
- Cotangente de la cuña.
- Elemento geométrico en planta: curva a izquierda, curva a derecha, recta.
- Perfil longitudinal: rasante, acuerdo convexo, acuerdo cóncavo.
- Cesión del control al conductor (S/N).

Además, se ha realizado una observación completa de un tramo de autovía, empleando la metodología descrita. La autovía es la CV-35, situada en la provincia de Valencia. El tramo es el inicial, desde la ciudad de Valencia hasta el PK 25; luego tiene una longitud de 25 km y presenta distinto número de carriles según secciones de la misma. Los radios de las curvas abarcan un rango entre 477 y 3,858 m, siendo el perfil longitudinal llano. El límite de velocidad es de 120 km/h, salvo en la parte inicial que es de 80 km/h y en una curva situada en el PK 9+030 que es de 100 km/h. El tramo presenta 25 salidas y 27 entradas, entre ambos sentidos. Además, en el PK 19+900 hay una reducción de 1 carril en el sentido creciente y un aumento de un carril en el sentido decreciente.

3. Resultados

En los carriles de deceleración y aceleración, la Instrucción 8.2-IC (Ministerio de Fomento, 1987) establece que la marca vial longitudinal discontinua para separación de carriles de entrada y salida se concluya o inicie donde la anchura del carril adicional sea de 1.5 m (Figura 2). Esto provoca que, en una cierta longitud, exista un vano o discontinuidad en la marca vial de borde de la calzada principal, cuya magnitud dependerá de la cotangente de la cuña correspondiente, hasta alcanzar la anchura de 1.5 m de carril adicional. Todo ello suponiendo que la ejecución de la marca vial se ajuste a lo prescrito.

A partir de las observaciones realizadas, ha resultado que un cierto número de salidas y entradas con carril de cambio de velocidad producen que el sistema de conducción automatizada ceda el control al conductor. Así, se logró una muestra de 26 salidas y 17 entradas con carriles de cambio de velocidad que provocaron la cesión del control al conductor.

Para el tramo completo observado de la CV-35, con 25 salidas y 27 entradas, entre ambos sentidos, se cede el control al conductor en un 32% y 19%, respectivamente (Figura 3). Luego para el sistema de conducción automatizada son más limitativas en su funcionamiento las discontinuidades de marcas viales correspondientes a salidas.



Figura 2. Carriles de cambio de velocidad en la CV-35 (Pobla de Vallbona, Valencia)

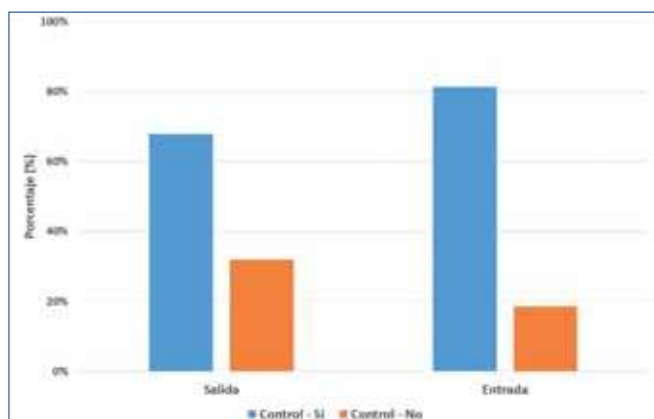


Figura 3. Distribución del control de la conducción semiautónoma en entradas y salidas de la CV-35

Adicionalmente, la mayoría de las pérdidas y aumentos de carriles producían la cesión del control, así como en convergencias y divergencias. Esto tiene su explicación en la disposición de las marcas viales longitudinales correspondientes a estas localizaciones, siguiendo la norma.

Para el inicio y final de un carril adicional, se produce una discontinuidad más larga que las anteriores porque el criterio es el mismo (anchura del carril adicional de 1.5 m), pero la transición de anchura de la calzada se hace en una

mayor longitud que las cuñas anteriores, sobre todo si la configuración es para un carril adicional de circulación rápida.

En bifurcaciones y confluencias de calzadas, si la suma de los carriles de ambas calzadas separadas es distinta al número de carriles de la calzada común, se produce una amplia zona intermedia sin marca vial de guiado para el vehículo automatizado.

Las causas de estas anomalías pueden ser diversas, algunas conocidas pero otras desconocidas según los resultados de esta investigación. Dentro de las causas que se han observado, hay que resaltar limitaciones al funcionamiento del sistema relativas a: excesiva longitud sin una de las marcas viales de referencia para el guiado automático; coincidencia, además, con localización en curva o con acuerdo vertical convexo; y discontinuidades puntuales de la curvatura de una o ambas marcas viales de borde de carril. Las causas ocultas se pueden deber a una posible limitación tecnológica como, por ejemplo, una selección inadecuada de la región de interés y el procesamiento digital de las imágenes.

4. Análisis

Para las salidas y entradas que han producido una cesión de control al conductor, se ha realizado un análisis de las longitudes del hueco sin marca vial y de su coincidencia con localizaciones en recta, curva a derecha y curva a izquierda. La muestra se corresponde con 26 salidas y 17 entradas con carriles de cambio de velocidad que provocaron la cesión del control al conductor.

En la Figura 4, se ha representado el valor medio y la desviación estándar de la longitud del hueco sin marca vial con cesión de control en salidas y entradas. Se confirma que el hueco sin marca vial en salidas presenta más probabilidad de provocar la cesión de control al conductor. La longitud media del hueco ha sido 38.8 m en salidas y 43.6 m en entradas. Los valores mínimos de la longitud del hueco han sido 15.0 m en salidas y 19.5 m en entradas. Luego,

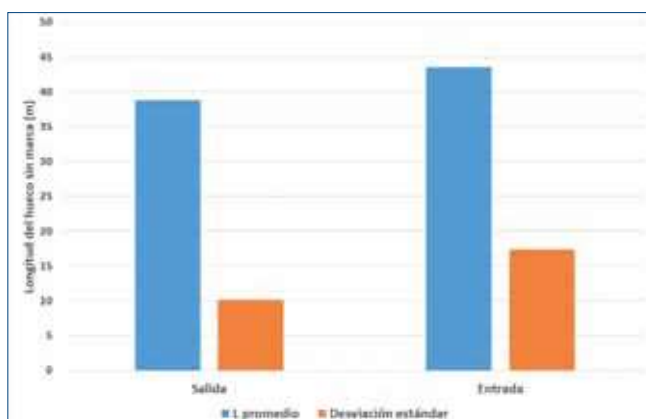


Figura 4. Promedio y desviación de la longitud del hueco sin marca vial con cesión de control en salidas y entradas

Rutas Técnica

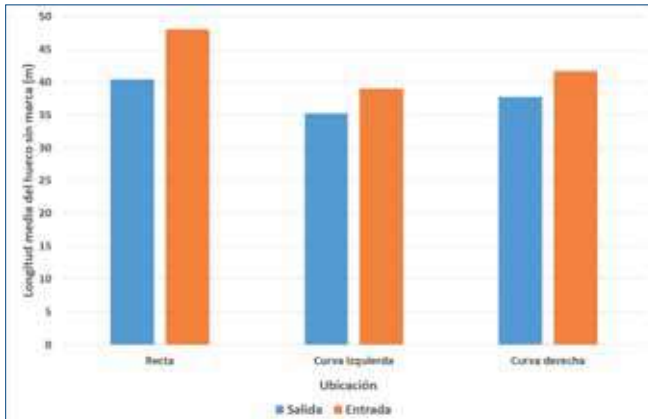


Figura 5. Longitud media del hueco sin marca vial con cesión de control en salidas y entradas en función del elemento geométrico en planta

incluso con huecos cortos se puede producir una cesión del control del vehículo automatizado.

En la Figura 5, se ha representado la longitud media del hueco sin marca vial con cesión de control, en salidas y entradas, en función del elemento geométrico en el que se localiza la conexión, es decir, si se trata de una recta, una curva a izquierda o una curva a derecha. Se puede observar, como antes, que las salidas son más limitativas, y las curvas también, especialmente las curvas a izquierda.

5. Discusión

Tal como se deduce de los anteriores análisis, existe una clara correlación entre la pérdida de continuidad de las marcas viales de guiado y los aumentos de las cesiones de control al conductor por parte de un sistema semiautónomo de conducción.

En las localizaciones con carriles de cambio de velocidad, una mayor longitud del hueco sin marca vial de separación del carril adicional provoca una mayor probabilidad de cesión del control al conductor, habiéndose observado este fenómeno incluso con longitudes cortas.

Teniendo en cuenta que muchos países (Francia, Alemania, Italia, Suecia, China, etc.) no dejan esos huecos en dicha marca vial (Figuras 6 y 7), sería preferible eliminar totalmente el hueco en lugar de pretender buscar un mínimo absoluto de su longitud que mantuviera el control



Figura 6. Marca vial de separación de carril de deceleración sin discontinuidad (Marne-la-Vallée, Francia)



Figura 7. Marca vial de separación de carril de deceleración sin discontinuidad (Shanghái, China)



Figura 8. Marca vial de separación de carril de deceleración con discontinuidad en I-65 (Fair Oaks, Indiana, EE. UU.)



Figura 9. Marca vial de separación de carril de aceleración con discontinuidad en I-65 (Lafayette, Indiana, EE. UU.)

en todas las localizaciones. Además, hay países que presentan el mismo problema, como EE.UU. (Figuras 8 y 9) y Canadá. En ellos, es opcional la prolongación de la marca vial de separación del carril de deceleración y de aceleración, siendo el hueco mayor que en España porque el MUTCD establece que la sección de inicio obligatorio de la marca vial se corresponde con la anchura completa del carril adicional (Figura 10) (Federal Highway Administration, 2012).

Otro problema detectado en la mayoría de las localizaciones se corresponde con la pérdida o ganancia de un carril que produce una larga discontinuidad de marca vial de separación de carriles (Figura 11). Esto no ocurre en todos los países (Figura 12), aunque es relativamente frecuente.

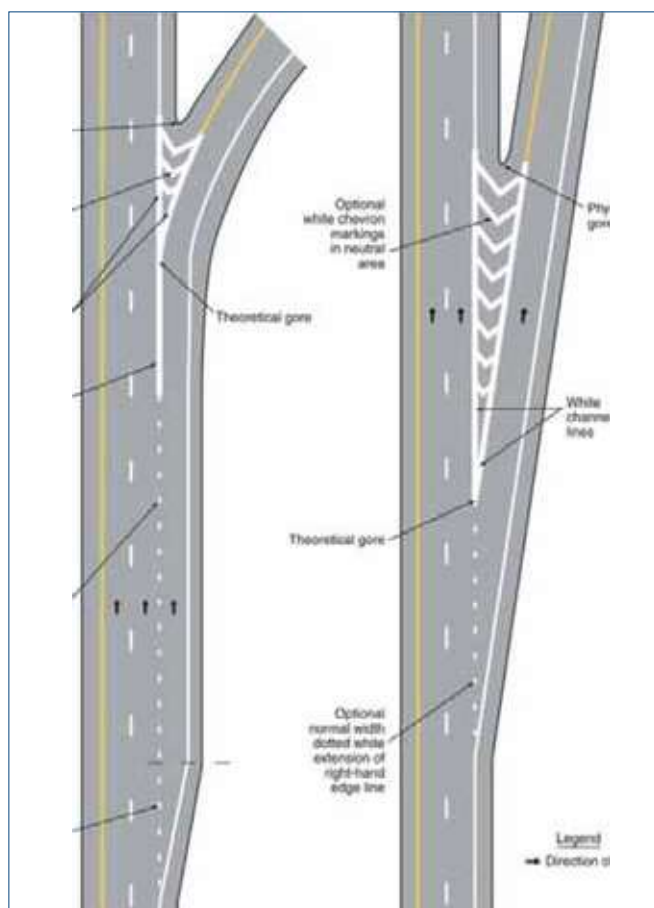


Figura 10. Prolongación opcional de la marca vial de separación del carril de deceleración en EE.UU, según el MUTCD de 2009, revisado en 2012 (Federal Highway Administration, 2012).



Figura 11. Pérdida y ganancia de carril en la CV-35 con discontinuidad de marca vial (Puebla de Vallbona, Valencia)



Figura 12. Pérdida y ganancia de carriles con continuidad de marca vial (Shanghái, China)

6. Propuesta de mejoras en marcas viales longitudinales

Teniendo en cuenta los resultados de las observaciones efectuadas y la comparativa con las disposiciones de las marcas viales en otros países, se hace necesario a corto plazo implementar ciertas mejoras del diseño de algunas de las marcas viales contempladas en la Instrucción 8.2-IC, para potenciar la continuidad del funcionamiento automatizado de los vehículos con conducción semiautónoma que ya están circulando por las carreteras y que se van a convertir progresivamente en habituales.

Favoreciendo que los vehículos automatizados mantengan el control a lo largo de las carreteras, especialmente autopistas y autovías, se logrará una mayor seguridad del conjunto de la circulación mixta, ya que habrá menos salidas de carril o calzada al no ser capaces los conductores de reaccionar a tiempo, como han demostrado algunas investigaciones.

En cualquier caso, las propuestas suponen medidas de bajo coste, pero se hace necesario una actualización rápida de la Instrucción 8.2-IC, pendiente desde hace bastantes años. Ahora, para poder aprovechar el potencial de mejora de la seguridad vial que presentan los vehículos automatizados, no se deberían demorar las actuaciones correspondientes en un marco estandarizado.

Las propuestas de mejora, básicamente, se corresponden con aumentar la longitud de algunas marcas viales discontinuas existentes para potenciar el guiado de los vehículos automatizados. En el caso de carriles de cambio de velocidad paralelos (Figura 13) y directos (Figura 14) la propuesta supone eliminar el hueco que se venía estableciendo.

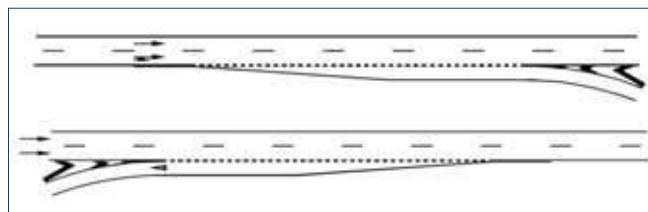


Figura 13. Propuesta de prolongación de la marca vial de separación de carril de cambio de velocidad paralelo

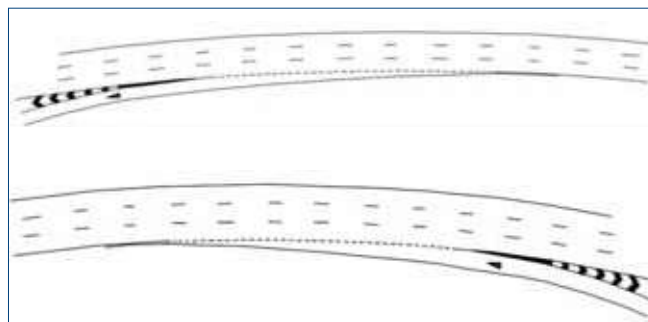


Figura 14. Propuesta de prolongación de la marca vial de separación de carril de cambio de velocidad directo

En las conexiones sin carriles de cambio de velocidad, se hace necesario establecer una marca vial discontinua

Rutas Técnica

en todas las localizaciones, a semejanza de como se hace siempre en las entradas a glorietas (Figura 15).

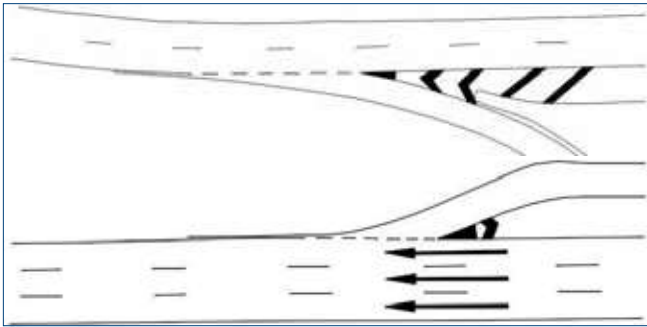


Figura 15. Propuesta de marca vial discontinua de prolongación del borde calzada en salidas y entradas sin carril de cambio de velocidad

En las secciones donde se produce el aumento o la pérdida de un carril, se propone la prolongación de la marca vial discontinua de separación de carriles de forma paralela (Figura 16), aunque también podría ser con disposición en cuña si se quisiera favorecer la continuidad de los vehículos pesados.

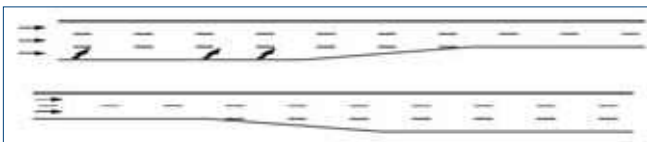


Figura 16. Propuesta de prolongación de la marca vial discontinua de separación de carriles en reducciones y aumentos de carriles

Para el tramo observado de la autovía CV-35, se han analizado las mejoras necesarias, aplicando las propuestas anteriores, y se ha obtenido una estimación del coste unitario de la ejecución de las mismas, suponiendo unos 140 €/km de ejecución material. En otros tramos de autopistas y autovías, con menos densidad de conexiones, el coste será aún menor.

7. Conclusiones

En base a las conclusiones de la investigación, se puede afirmar que la normativa vigente de marcas viales presenta claros problemas para facilitar la continuidad de funcionamiento de la conducción semiautónoma, según su alcance tecnológico actual. Como se ha podido observar en una amplia muestra de entradas y salidas de vías, los huecos sin marca vial, que actualmente se deben disponer, suponen, en un porcentaje muy elevado de casos, la pérdida de orientación del sistema semiautónomo y, por tanto, la cesión de control al conductor, pudiendo ocasionar un accidente si la percepción y respuesta del conductor se demora, como se ha demostrado que ocurre. Esta casuística se ha observado con mayor frecuencia en carriles de deceleración de salidas y en tramos curvos.

A tenor de la problemática observada, y tras observar también el marcado vial de otros países, se han realizado unas propuestas de mejora de la actual Instrucción de señalización horizontal, para su incorporación en la próxima edición, la cual se sugiere se haga con urgencia. A tal efecto, las propuestas

realizadas se centran fundamentalmente en eliminar los huecos de marcado en las salidas e incorporaciones a carreteras. Estos cambios no supondrán, asimismo, cambios de ningún tipo a los vehículos que no dispongan de sistema semiautónomo de conducción. Asimismo, se trata de medidas de bajo coste, estimándose en unos 140 €/km a lo sumo.

Adicionalmente, se proponen mejoras donde se produce el aumento o la pérdida de un carril, con la prolongación de la marca vial discontinua de separación de carriles de forma paralela o en cuña, si se quisiera favorecer la continuidad de los vehículos ligeros o pesados, respectivamente.

Como futura investigación, se plantea abordar otros aspectos relacionados con el procesamiento digital de imágenes que realizan los sistemas de conducción semiautónoma y que han sido introducidos en el estado del arte. Entre ellos destaca la profundización en el análisis de la geometría real de las marcas viales que supone una variación de la curvatura tridimensional, con posibles cambios bruscos localizados por errores en la ejecución; las observaciones de otros patrones de señalización horizontal; las observaciones sistemáticas del estado de conservación de las marcas viales, centrándose en el rastreo de patrones de detección de bordes; así como en otros problemas relacionados con el pavimento y que pueden dar lugar a una detección errónea del marcado vial.

Referencias

- Cácere Hernández, D., Filonenko, A., Shabnaz, A., y Jo, K.-H. (2017). Lane Marking Detection Using Image Features and Line Fitting Model. HSI.
- Dogan, E., Rahal, M., Deborne, R., Delhomme, P., Kemeny, A., y Perrin, J. (2017). Transition of Control in a Partially Automated Vehicle: Effects of Anticipation and Non-Driving-Related Task Involvement. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology Behavior*, vol. 46, 205-215.
- Du, X., y Tan, K. (2016). Comprehensive and Practical Vision System for Self-Driving Vehicle Lane-Level Localization. *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 25(5), 2075-2088.
- Du, X., y Tan, K. (2016). Vision-based approach towards lane line detection and vehicle localization. *Machine Vision and Applications*, vol. 27, 175-191.
- Federal Highway Administration. (2012). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*.
- Ministerio de Fomento. (1987). *Instrucción 8.2 I.C.: Marcas viales*.
- Shen, S., y Neyens, D. (2017). Assessing Drivers' Response during Automated Driver Support Systems Failures with Non-Driving Tasks. *Journal of Safety Research*, vol. 61, 149-155.
- Sun, T., Tsai, S., y Chan, V. (2006). HSI color model based lane-marking detection. *Proceedings IEEE Intelligent Transport Systems Conference (ITSC)*, (págs. 1168-1172).
- Wen, L.-h., y Jo, K.-H. (2016). Vehicle Localization and Navigation on Region with Disappeared Lane Line Marking. *IEEE/SICE International Symposium on System Integration*. Sapporo, Japan. ❖