

LOCALIZACIONES DE RIESGO MÍNIMO PARA VEHÍCULOS AUTOMATIZADOS Y CONECTADOS

Alfredo García

Catedrático, Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC), Universitat Politècnica de València, España

Francisco Javier Camacho Torregrosa

Profesor Contratado Doctor, GIIC, Universitat Politècnica de València, España

David Llopis Castelló

Profesor Ayudante Doctor, GIIC, Universitat Politècnica de València, España

RESUMEN

Cada vehículo automatizado y conectado posee su propio Dominio de Diseño Operativo (ODD) debido a las particularidades de su sistema automatizado – sensores, algoritmos de percepción y decisión, y actuadores –. Para garantizar que este tipo de vehículos opere de forma segura es fundamental el diseño de Maniobras de Riesgo Mínimo (MRM) que permitan al sistema, cuando finalice un ODD, lograr una Condición de Riesgo Mínimo (MRC).

Hasta ahora, se han planteado, pero no concretado, distintas alternativas relacionadas con la configuración y el diseño de carreteras para facilitar a los sistemas automatizados alcanzar un MRC. Concretamente, este trabajo propone, para distintas tipologías de carretera – autopistas, autovías y carreteras 2+1 –, diferentes soluciones de apartaderos de emergencia y zonas de detención segura, analizando sus fortalezas y debilidades. La alternativa más segura y con mayor capacidad para una MRC será una zona de detención segura, localizada fuera de los ámbitos de las calzadas principales, aprovechando las conexiones, los ramales o las zonas intermedias de enlaces. Esta nueva necesidad ligada a los vehículos automatizados y conectados requiere indudablemente replantearse el diseño y configuración de la red de carreteras, especialmente de los nudos viarios, con el fin de fomentar una movilidad inteligente y segura.

1. INTRODUCCIÓN

Para un mismo tramo de carretera, cada vehículo automatizado puede tener sus propios Dominios de Diseño Operativo (Operational Design Domains, ODDs) que se manifestarán en diversas secciones inconexas de esa carretera que le permiten operar de forma automatizada. Son inconexas porque no tienen continuidad, es decir, se pueden producir desconexiones o cesiones al conductor, que se pueden deber a factores limitantes distintos, para luego volver a recobrar el control.

Ante la problemática de las finalizaciones de los ODDs por sus desconexiones, debidas a algunos de los factores limitantes, se hace muy necesario que el sistema automatizado aplique dos principios fundamentales: la monitorización continua de los factores subyacentes del ODD del vehículo y la capacidad de autoadaptación.

Si se detecta una alteración que comporta un ODD potencialmente restringido, algunos sistemas pueden ser capaces de adaptar dinámicamente su comportamiento para permanecer dentro de este dominio. En cualquier caso, si no le fuera posible, se espera que los niveles 4 y en muchas ocasiones también los de nivel 3 funcionen de manera segura incluso en el caso de fallos del propio sistema o con condiciones externas peligrosas, como una adversidad meteorológica importante.

Un sistema automatizado de nivel 4 debe poder lograr una condición de riesgo mínimo – como apartarse y detenerse en el arcén – si detecta algún problema con su propio funcionamiento o por condiciones externas que impidan una operación segura. Se trata, por tanto, de una detención segura, no una detención de emergencia.

La terminación de la tarea de conducción automatizada, por un fallo repentino del sistema automatizado, un cambio súbito de un factor ambiental o de entorno, o la finalización del ODD, supone el necesario desarrollo de una tarea dinámica de conducción (Dynamic Driving Task, DDT) para la retirada del vehículo a una Condición de Riesgo Mínimo (Minimal Risk Condition, MRC), donde se pueda producir su detención segura o que conlleve un riesgo mínimo. Luego se trata de localizaciones viarias.

El concepto es sencillo, pero el problema radica en de qué forma práctica y segura se pueden establecer y habilitar esas condiciones de riesgo mínimo sobre la infraestructura viaria. El sistema automatizado, en función de las condiciones que han ocasionado la necesidad de buscarlas, así como del estado del vehículo, carretera y entorno, decidirá de entre una serie de opciones posibles, cuál es la que conlleva el mínimo riesgo. Por ejemplo, detener el vehículo automatizado en el mismo carril por donde estaba circulando (activando de forma automática las luces de emergencia, como hacen los vehículos automatizados actuales de nivel 2) es una opción que presenta un riesgo importante y por ello únicamente debería ser activada bajo circunstancias extremas. Preferentemente, y si el vehículo lo permite, el sistema debería ser capaz de llevar el coche a zonas de aparcamiento seguro que se habiliten cada cierta distancia, fuera del ámbito de los arcones.

Para llevar el vehículo automatizado a un estado o situación segura, las MRC se convierten en la base para definir las maniobras de riesgo mínimo (Minimal Risk Maneuvers, MRM). Luego, el sistema automatizado ha de ser capaz, en primer lugar, de analizar y decidir la mejor opción para alcanzar una MRC, entre todas las posibles en cada lugar y momento, en función de la causa, de las características de la sección de carretera y de las condiciones operacionales y ambientales.

Una vez adoptada la decisión de qué MRC se va a alcanzar, se han de analizar las distintas maniobras de riesgo mínimo (MRM) para optar por las más seguras.

Por tanto, se trata de un balance global para minimizar los riesgos, tanto de las maniobras evasivas (MRM), como de la situación o condición final (MRC).

2. ALTERNATIVAS VIARIAS PARA ACOGER CONDICIONES DE RIESGO MÍNIMO

Ante tanta incertidumbre relacionada con la nueva movilidad conectada y automatizada, tanto tecnológica como técnica y regulatoria, se sigue avanzando en los estudios y desarrollos, así como en las discusiones entre los diversos agentes o partes interesadas. Uno de los ámbitos principales de avance necesario es el de las interrupciones o finalizaciones de los ODDs, con las consiguientes maniobras de riesgo mínimo (MRM) para llevar al vehículo a una condición de riesgo mínimo (MRC).

De hecho, para aumentar la seguridad en estas maniobras de los sistemas automatizados, se están incorporando elementos y procesamientos redundantes relacionados con la tarea de conducción (como los relacionados con la frenada, el giro del volante, la detección de obstáculos, etc.).

Otro de los elementos en discusión está muy relacionado con la configuración y diseño de las carreteras. Se trata de las zonas donde poder acoger con seguridad los vehículos automatizados que necesiten alcanzar una MRC. Hasta ahora, se han planteado diversas alternativas, de menor a mayor seguridad: el uso del arcén exterior, la disposición de apartaderos de emergencia y el desarrollo de nuevas zonas de detención segura fuera de la plataforma viaria (Transport Systems Catapult, 2017; SAE, 2018; Liu et al., 2019). Estas medidas van, además, de mayor a menor proximidad respecto a la localización del vehículo en el momento de la activación de la causa.

En esta nueva necesidad viaria, lo primero que habría que tener en cuenta es la estimación de la posible demanda de alojamiento para las maniobras de riesgo mínimo (generadas por los vehículos con un alto nivel de automatización, de niveles 4 y 5 y ocasionalmente el 3), así como las necesidades para maniobras de mitigación de riesgo (algunos niveles 2 y 3, así como niveles superiores en condiciones excepcionales).

Estimar la demanda real de estas maniobras resulta especialmente complicado en la actualidad, pues los ODDs no están enunciados de forma explícita y por lo tanto no es posible determinar cuántos vehículos podrían verse afectados por una variación de un factor del entorno (como una inclemencia meteorológica, que podría provocar que muchos sistemas automatizados se salieran de sus ODDs).

Además, siempre habría cierta demanda ante fallos de funcionamiento del propio sistema automatizado, aparte de los fallos mecánicos que ya existen en los vehículos.

Por tanto, habría que hacer una provisión importante de plazas o posiciones de detención segura y uniformemente repartidas, para que los vehículos automatizados puedan alcanzar con facilidad una MRC para retirarse con un riesgo mínimo, en caso de no recibir respuesta por parte del conductor.

Para que el arcén pudiera servir para esta función, tendría que disponer de una anchura mínima de 2,5 m, aunque siempre sería una opción peligrosa, por la proximidad a la circulación en el carril adyacente. De hecho, el Protocolo de Auxilio en Carretera (DGT, 2015) califica de alto riesgo el que un vehículo averiado haya quedado inmovilizado en un arcén. Sin embargo, el arcén presenta la ventaja de su disponibilidad continua a lo largo de la carretera.

Según la Ley de Carreteras (2015), se define el arcén como la “franja longitudinal pavimentada, contigua a la calzada, no destinada al uso de vehículos más que en circunstancias excepcionales”. Por tanto, con la función establecida en la regulación actual, el arcén podría emplearse como MRC. Pero, ante una inclemencia ambiental intensa, los arcenes podrían ser ocupados de forma densa por lo que los vehículos automatizados detenidos podrían bloquear el paso necesario de vehículos de emergencia.

Todo ello hace necesario que se habiliten otras soluciones viarias que supongan unas localizaciones más seguras para los vehículos automatizados, sin ocupar ni bloquear los arcenes.

3. APARTADEROS DE EMERGENCIA

Los apartaderos de emergencia ya existen en algunas autovías y autopistas, donde el arcén no tiene una anchura suficiente (Figura 1). Se trata de un ensanche de la plataforma de la carretera destinado a permitir la detención o el estacionamiento temporal de los vehículos (Ministerio de Fomento, 2016).



Figura 1: Apartadero de emergencia.

Según la tipología de carretera, se podrían plantear diferentes tipologías de apartaderos:

- Autopistas y autovías:
 - Apartadero exterior para varios vehículos.
 - Apartadero exterior para un coche como ampliación del arcén.
 - Apartadero interior en la mediana para varios vehículos.

- Carretera 2+1:
 - Apartadero exterior para varios vehículos.
 - Apartadero exterior para un coche como ampliación del arcén.
 - Apartadero interior en las zonas de transición no críticas para varios vehículos.

3.1 Apartadero exterior para vehículos

Estos apartaderos exteriores existentes están diseñados para hacer posible la detención de vehículos averiados, como se menciona en la Instrucción 3.1-IC (2016). Antes de esta nueva versión de la Instrucción, se construyeron con dimensiones más reducidas.

La Instrucción de Trazado establece que el ancho total de estos apartaderos será al menos de 4,5 m, con la siguiente distribución: 3,5 m para el apartadero, propiamente dicho, y al menos 1,0 m de cebreado de separación de la calzada (Figura 2). Además, la longitud de los apartaderos y de la zona cebreada será de 30 m, con cuñas de transición al inicio y final, de longitud mínima 30 m, cada una.



Figura 2: Definición geométrica de un apartadero de emergencia según la Instrucción 3.1-IC (2016).

Además, se establece que el número de apartaderos necesarios y su ubicación será objeto de un estudio. Por tanto, refleja lo que esta nueva función va a requerir: un estudio detallado de la demanda, tanto del número de vehículos a acoger, como su distribución espacial y temporal. Para ello, habrá que esperar la evolución de los desarrollos de los sistemas automatizados de conducción para poder contar con las bases técnicas suficientes para poder hacer esos estudios.

En Inglaterra (Highways England, 2020), la regulación de las áreas de emergencia para autopistas inteligentes (con regulación variable de velocidad) es similar, pero con forma de trapecio escaleno, donde la cuña de entrada ha de tener 25 m de longitud y la de salida 45 m, mientras que la zona de parada ha de ser de 30 m. La anchura está establecida en 4,6 m. También se regula el espaciamiento máximo entre las áreas de emergencia, debiendo ser no mayor de 1,6 km y de forma recomendable cada 1,2 km. Todo ello es de aplicación cuando no exista un arcén exterior de 3 m de anchura mínima o cuando existiendo pueda ser abierto a la circulación en horas punta (Figura 3).



Figura 3: Área de emergencia en Inglaterra.

Uno de los parámetros que seguro habrá que ajustar, según las demandas estimadas, será la longitud de los apartaderos, no teniendo sentido que sean de esa longitud fija de 30 m. Tampoco está claro que tengan que reincorporarse por la cuña final, ya que el orden de regreso a la circulación no tiene por qué coincidir con el de entrada en el apartadero. Esta sería una de las limitaciones de esta alternativa, ya que no habría espacio para acelerar y entrar a una cierta velocidad, aumentando el riesgo de esas maniobras.

Esta necesidad de entradas y salidas a los apartaderos, sin un orden de posicionamiento, haría que las marcas viales de separación hubiera que replantearlas para que se permitiera su cruzamiento. Por ejemplo, se podrían disponer de forma paralela pero discontinuas, con una relación trazo/vano a estudiar.

Además, se podrían aprovechar las secciones en desmante que cuentan con cunetas de seguridad amplias y suaves para adaptarlas como apartaderos para este fin, con la única necesidad de pavimentar las bermas para darle continuidad al pavimento, pero sin tener que regularizar la geometría de la zona de cuneta. En la fotografía de la Figura 4 se puede observar el resultado al haber pavimentado la berma y así garantizar la continuidad transversal de la superficie de rodadura para vehículos ligeros. Esta disposición tiene la ventaja adicional de su gran capacidad al ser tramos normalmente largos.



Figura 4: Apartadero exterior sobre cuneta de seguridad.

También se podría aprovechar para ubicar un apartadero exterior el sobrecancho de estructuras de pasos inferiores que se construyeron previendo una futura ampliación de calzada, como se puede observar en la Figura 5.



Figura 5: Apartadero exterior sobre sobrecancho de estructura de paso inferior. Fuente: Google.

Todas estas diversas tipologías de apartadero se podrían aplicar a cualquier otro tipo de carretera.

3.2 Apartadero exterior para un coche como ampliación del arcén

En algunos tramos de autopistas y autovías existen pequeños apartaderos para estacionar vehículos de conservación y explotación, así como de vigilancia y control (Figura 6).



Figura 6: Apartadero exterior reducido.

Suelen tener forma trapezoidal, con unas dimensiones reducidas: unos 20 m de longitud total y 2,5 m de anchura, incluyendo sendas cuñas de transición de 5 m cada una y dejando 10 m para la zona de parada. Hasta ahora se han desarrollado en secciones con disponibilidad y facilidad de espacio en el margen para reducir su coste.

La ventaja de este tipo de apartadero, para la nueva necesidad que va a surgir, radica en el bajo coste y su facilidad de ejecución, para poder ofrecer localizaciones de detención segura numerosas y muy uniformemente distribuidas, que compensen su capacidad unitaria con una mayor accesibilidad. No precisan de mayores dimensiones si se distribuyen con cierta regularidad y sus cuñas de transición no han de ser más largas porque se trata de que un vehículo automatizado que precise apartarse a una MRC pueda inicialmente reducir su velocidad, incorporarse y circular por el arcén a una velocidad de unos 30 km/h, hasta alcanzar el siguiente apartadero libre, entrando en él para su detención segura, dejando totalmente libre el arcén.

Estos apartaderos más reducidos pero frecuentes, se podrían desarrollar en cualquier otro tipo de carretera, siendo más fáciles de integrar que los anteriores en carreteras de calzada única.

3.3 Apartadero interior en la mediana para varios vehículos

Teniendo en cuenta que puede haber autopistas donde se asigne en exclusiva para los vehículos automatizados el carril izquierdo, no sería descartable la necesidad de disponer los apartaderos directamente en la mediana. Esta opción podría ser la preferida por vehículos que circularan por el carril izquierdo. De este modo, aparcando en la mediana se ahorra cruzar los otros carriles para alcanzar el arcén o un apartadero exterior.

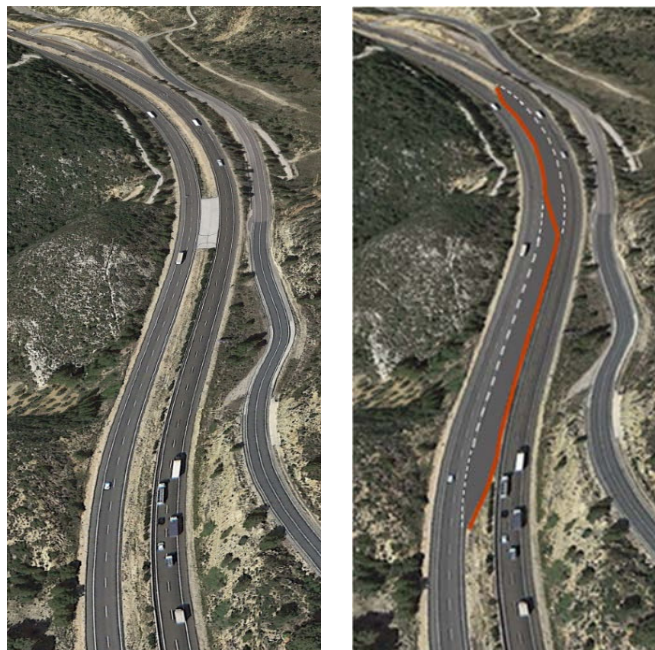


Figura 7: Apartadero interior en la mediana. Fuente: Adaptada de Google.

En este sentido, se podrían aprovechar los pasos de mediana, extendiéndolos como apartaderos para cada uno de los sentidos, siempre y cuando la mediana tenga anchura suficiente para poder acoger los apartaderos. En la Figura 7 se puede observar una posible solución para estos apartaderos de mediana.

Adicionalmente, se podrían utilizar estos apartaderos como pasos de mediana decalados para los dos sentidos, con la ventaja adicional de contar con sendos carriles de deceleración. Para ello, habría que añadir las cuñas finales triangulares pavimentadas que faciliten la incorporación final a la otra calzada. Para su apertura, habría que retirar o mover el sistema de contención de la parte final del apartadero.

3.4 Apartadero interior en las zonas de transición no críticas de carreteras 2+1 para varios vehículos

En las carreteras 2+1 surgen las zonas de transiciones no críticas acopladas para la apertura de los carriles de adelantamiento para cada uno de los sentidos (MITMA, 2021). Según las nuevas Recomendaciones para su diseño, “la longitud de cada carril adicional de adelantamiento debe ser tal que diluya la cola estimada en la hora de proyecto con una longitud en un rango estimado de entre 800 m y 2000 m, sin perjuicio de estudios más detallados al respecto”. Luego, como es habitual, se diseñan para las mayores demandas de tráfico estimadas, por lo que habrá una mayoría de horas al año donde no sea necesaria tanta longitud de carril de adelantamiento para facilitar toda la demanda de adelantamiento que se haya podido acumular en el tramo anterior de un solo carril.

Por tanto, se podría plantear la posibilidad de darle un uso temporal al inicio de los carriles de adelantamiento para alojar vehículos automatizados que precisen alcanzar una condición o localización de riesgo mínimo. En la Figura 8 (adaptada de la Figura A1.1 de las Recomendaciones), se puede observar una propuesta para facilitar apartaderos interiores en el inicio de los carriles de adelantamiento.

Para diferenciar la zona correspondiente al apartadero, se podría emplear la marca vial M-1.4 establecida para la “delimitación de carril que pueda utilizarse en un sentido o en el contrario, solo cuando este regulado por medio de semáforo de carril” (MOPU, 1987). El borrador de la nueva Instrucción 8.2-IC define la función de esta marca vial: “delimita por ambos lados los carriles reversibles, en los que el sentido de circulación está reglamentado en uno u otro sentido mediante semáforos de carril u otros medios” (MITMA, 2020).

Aunque su función hasta ahora estaba orientada a la delimitación lateral de los carriles reversibles, teniendo en cuenta la prevención que transmiten a los conductores para su cruce y que habría que señalar dinámicamente el uso o no de la zona inicial como carril de adelantamiento, sería una buena opción para la señalización.

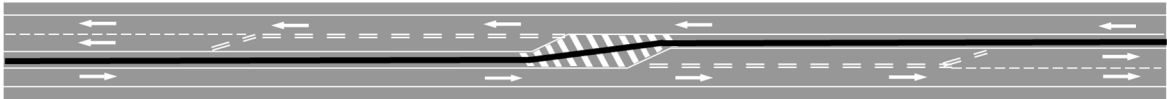


Fig. 8 – Apartaderos interiores en el inicio de carriles de adelantamiento de carreteras 2+1.

4. ZONAS DE DETENCIÓN SEGURA

La alternativa más segura y con mayor capacidad para una MRC será una zona de detención segura, localizada fuera de los ámbitos de las calzadas principales, aprovechando las conexiones, los ramales o las zonas intermedias de enlaces.

Para estas zonas de detención segura caben diversas alternativas según la tipología de carretera:

- Una vía colectora existente a la que se adose un apartadero lineal o una batería de aparcamientos. Si la vía colectora no tuviera suficiente desarrollo, cabría la posibilidad de adelantar la salida y extender la vía colectora de forma anticipada para poder disponer la zona de detención en esa zona nueva (Figura 9).
- Una nueva vía colectora que conecte un ramal de salida con un ramal de entrada (Figura 10).
- Un ramal de salida con apartadero de emergencia, preferentemente cuando los vehículos automatizados puedan tener continuidad en la intersección con la carretera secundaria para volver a reincorporarse a la calzada principal. Si el ramal no tuviera suficiente desarrollo, cabría la posibilidad de adelantar la salida y extender el ramal de forma paralela a la calzada principal para poder disponer la zona de detención en esa parte nueva (Figura 11).
- Un nuevo ramal específico para dar acceso a la zona de detención segura, que pueda tener continuidad en la intersección con la carretera secundaria para volver a reincorporarse a la calzada principal (Figura 12).



Figura 9: Zona de detención segura en una vía colectora existente con apartadero.
Fuente: Google.

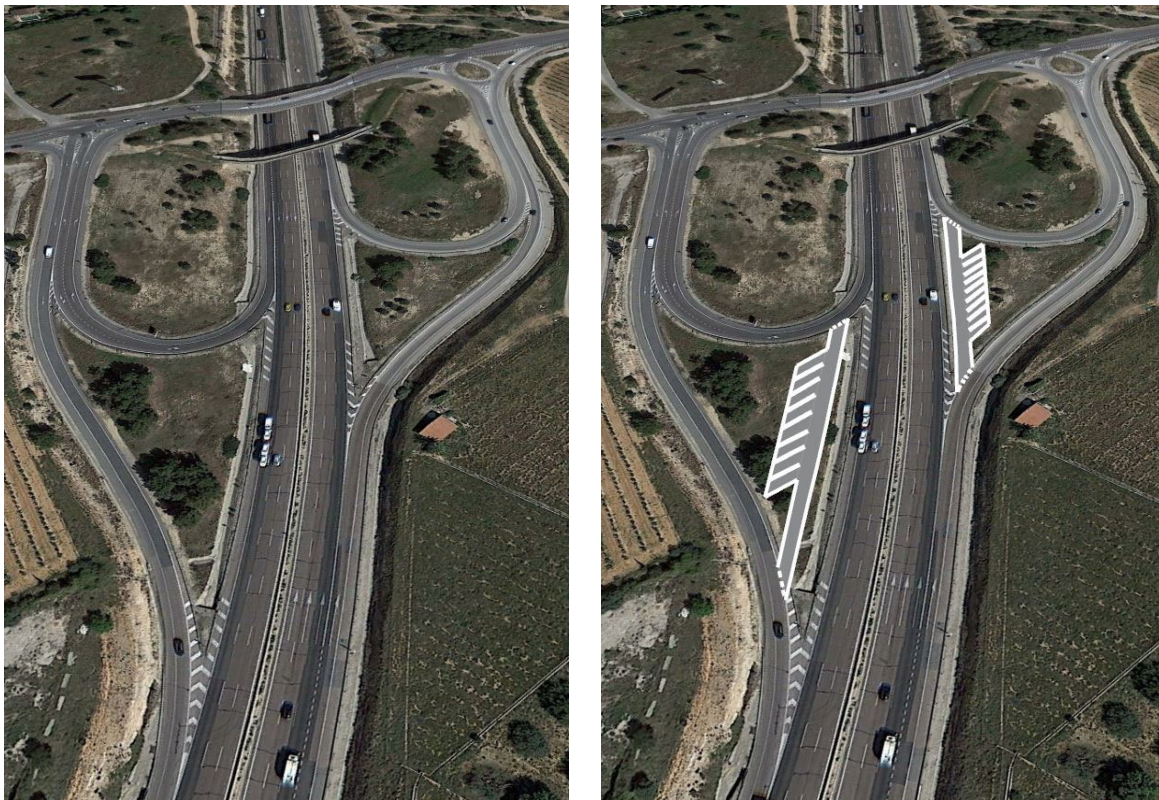


Figura 10: Zona de detención segura en una nueva vía colectora. Fuente: Adaptada de Google.

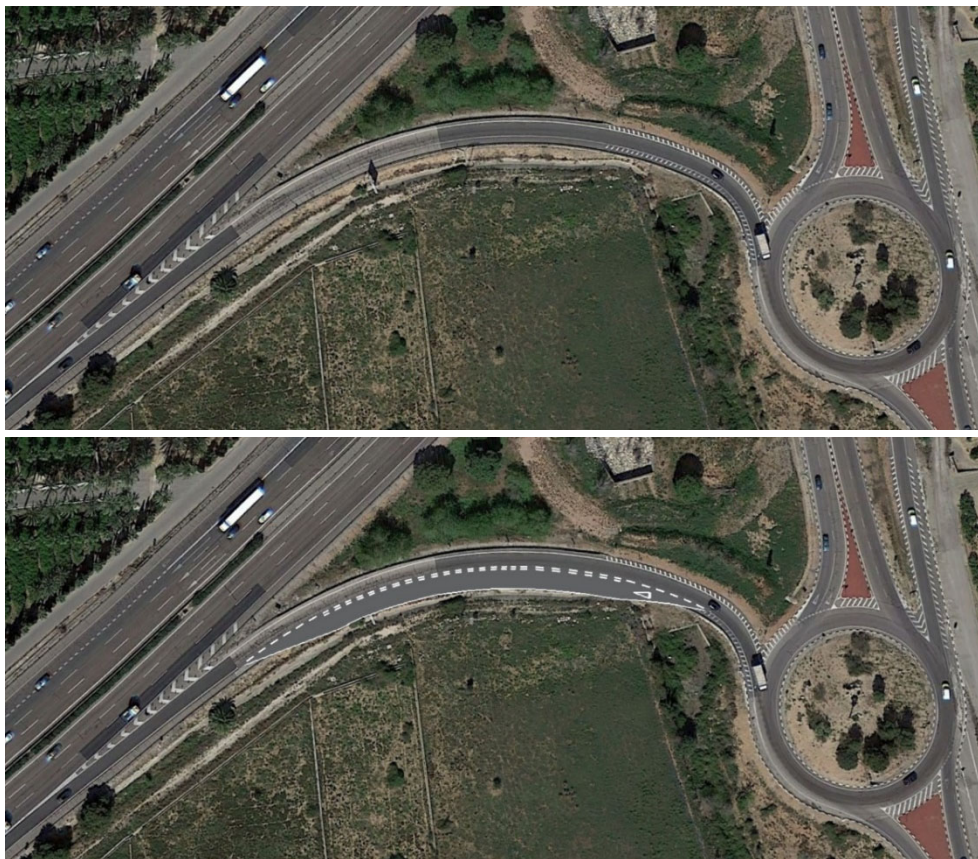


Figura 11: Zona de detención segura en un ramal de salida con apartadero. Fuente: Adaptada de Google.



Figura 12: Zona de detención segura en un nuevo ramal de uso específico. Fuente: Adaptada de Google.

5. NUEVOS CRITERIOS DE DISEÑO Y ORDENACIÓN

Ante la nueva necesidad que va a surgir y las diversas alternativas viarias para facilitar las zonas de detención segura de los vehículos automatizados, habrá que añadir este nuevo criterio a la hora de diseñar los nudos, especialmente los enlaces, pero también las intersecciones.

Uno de los posibles cambios será que en los enlaces difusores con una carretera secundaria se diseñen las intersecciones de los ramales con la misma empleando glorietas, que faciliten la reincorporación de los vehículos automatizados desde las zonas de detención segura a la carretera principal. Adicionalmente, se deberán separar más los ramales directos de giro a derecha para dejar espacios intermedios que permitan integrar en ellos las zonas de detención segura.

La necesaria señalización horizontal y vertical requerirá de un estudio amplio y armonizado, al menos, a nivel europeo, conjuntamente con la industria del automóvil. Igualmente, para la ordenación de su uso, incluyendo la necesaria conectividad V2I e I2V de tal forma que cada vehículo que adopte una posición MRC comunique su posición georreferenciada a un centro de control, para que, a su vez, sea comunicada al resto de vehículos que precisen localizar otra MRC en esa zona. Además, habrá que establecer una regulación clara que prevenga del mal uso de las zonas de detención segura.

6. CONCLUSIONES

Para el desarrollo de un sistema automatizado seguro, el diseño de las maniobras posibles para lograr una condición de riesgo mínimo cuando finalice un ODD sin que el conductor recupere el control, es una parte fundamental. Pero, se hace necesario el estudio, para cada tramo de carretera donde se habilite la circulación de vehículos automatizados de nivel 3 o superior, de las posibles localizaciones que cumplan los requisitos para las condiciones de riesgo mínimo.

Hasta ahora, se han planteado diversas alternativas, de menor a mayor seguridad, pero de mayor a menor proximidad respecto a la localización del vehículo en el momento de la activación de la causa, respectivamente: el uso del arcén exterior, la disposición de apartaderos de emergencia y el desarrollo de nuevas zonas de detención segura fuera de la plataforma viaria.

Los arcenes presentan la ventaja de su disponibilidad continua a lo largo de la carretera y serían posibles localizaciones, siempre que dispusieran de una anchura mínima de 2,5 m, aunque siempre sería una opción peligrosa, por la proximidad a la circulación en el carril adyacente.

Además, ante una inclemencia ambiental intensa, los arcenes pasarían a ser ocupados de forma densa por lo que los vehículos automatizados detenidos podrían bloquear el paso necesario de vehículos de emergencia.

Según la tipología de carretera, se han planteado diferentes tipologías de apartaderos de emergencia para servir como MRCs. En autopistas y autovías se pueden desarrollar: apartaderos exteriores para varios vehículos, como los actuales, pero también aprovechando zonas con cunetas de seguridad amplias y sobreechamientos de estructuras en pasos inferiores; apartaderos exteriores para un solo coche como ampliación del arcén; y apartaderos interiores en la mediana para varios vehículos, que además pueden servir como pasos de mediana de mejores prestaciones que los actuales. En carreteras 2+1, además de los anteriores, se podrían integrar apartaderos interiores en las zonas de transición no críticas para varios vehículos.

La alternativa más segura y con mayor capacidad para una MRC será una zona de detención segura, localizada fuera de los ámbitos de las calzadas principales, aprovechando las conexiones, los ramales o las zonas intermedias de enlaces. Para estas zonas de detención segura se han propuesto diversas alternativas: una vía colectora existente a la que se adose un apartadero; una nueva vía colectora que conecte un ramal de salida con un ramal de entrada; un ramal de salida con apartadero de emergencia; un nuevo ramal específico para dar acceso a la zona de detención segura, que pueda tener continuidad en la intersección con la carretera secundaria para volver a reincorporarse a la calzada principal.

Ante la nueva necesidad que va a surgir y las diversas alternativas viarias para facilitar las zonas de detención segura de los vehículos automatizados, habrá que añadir este nuevo criterio a la hora de diseñar los nudos, especialmente los enlaces, pero también las intersecciones.

Además, la necesaria señalización horizontal y vertical requerirá de un estudio amplio y armonizado, al menos, a nivel europeo, conjuntamente con la industria del automóvil. Igualmente, para la ordenación y regulación de su uso, incluyendo la necesaria conectividad V2I y V2V de tal forma que cada vehículo que adopte una posición MRC comunique su posición georreferenciada a un centro de control, para que, a su vez, sea comunicada al resto de vehículos que precisen localizar otra MRC en esa zona. Habrá que establecer una regulación clara para prevenir el mal uso de las zonas de detención segura.

Todas las localizaciones para alojar vehículos automatizados, ya sean apartaderos o zonas de detención segura, deberán estar incorporadas en los mapas de alta definición dinámicos.

REFERENCIAS

DGT (2015). Protocolos y Guías de Intervención. Acceso online: <https://www.dgt.es/es/seguridad-vial/unidad-de-victimas-de-accidentes-de-trafico/protocolos/>

HIGHWAYS ENGLAND (2020). GD 301 ENAA: England National Application Annex to GD 301 Smart motorways.

BOE (2015). Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras. BOE de 30 de septiembre de 2015.

MINISTERIO DE FOMENTO (2016). Orden FOM/273/2016, de 19 de febrero, por la que se aprueba la Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (1987). Orden Ministerial de 16 de julio de 1987, por la que se aprueba la Norma 8.2 - IC sobre Marcas Viales (BOE del 4 de agosto y 29 de septiembre).

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA (2020). Borrador Norma 8.2-IC Marcas Viales. Versión marzo 2020.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA (2021). Orden Circular 1/2021, sobre Recomendaciones para el Diseño de Carreteras 2+1 y Carriles Adicionales de Adelantamiento.

SAE (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. J3016_201806.

TRANSPORT SYSTEMS CATAPULT (2017). Future Proofing Infrastructure for Connected and Autonomous Vehicles. Technical Report.

YUYAN LIU ET AL (2019). A systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles (CAVs). J. Phys.: Conf. Ser., 1187, 042073.