

RESEÑA DE LAS PRESENTACIONES DE LA JORNADA

CARRETERAS 2+1: Una solución con futuro



Presentations related to the Technical Conference
"2+1 Roads – A solution for the present and the future"

Comité Técnico de Planificación, Diseño y Tráfico
Asociación Técnica de Carreteras

Históricamente la demanda de movilidad en las vías interurbanas de la Red de Carreteras del Estado se ha venido resolviendo fundamentalmente mediante dos soluciones de diseño: la carretera convencional y la autovía (hoy en día con plenas características de autopista).

Esta polarización entre autovía y carretera convencional provoca una importante discontinuidad de las prestaciones para los usuarios de ambas vías, y muy especialmente en los niveles de seguridad. Asimismo, la problemática de su diseño también resulta muy diferente entre ambas opciones, fundamentalmente por los aspectos debidos a la limitación de accesos, el tratamiento de los nudos, la superficie de ocupación, el impacto ambiental, el coste de construcción, las condiciones de explotación, etc.

Además de las carreteras multicarril recientemente incorpora-

das explícitamente en la normativa española, existen en la actualidad otras soluciones que pueden constituir una posibilidad intermedia de actuación, que se encuentran plenamente contrastadas por la experiencia llevada a cabo en otros países europeos, donde incluso ya han sido incorporadas a su normativa.

Tal es el caso de las que se han venido a denominar "Carreteras 2+1", donde sobre la base de diseño de una carretera convencional se incorporan carriles adicionales de adelantamiento con una separación física entre ambos sentidos de circulación. En esencia, ante la complejidad que puede representar para el usuario la gestión de la maniobra de adelantamiento, se cede la misma a la propia infraestructura, con carácter local o global en un tramo de la vía.

Desde el punto de vista de la demanda, los tramos de carretera 2+1 pueden cubrir un rango de IMD

entre los 4.000-25.000 v/d. En consecuencia, esta nueva solución permite extender la oferta de una carretera convencional, sin necesidad de llegar a acometer necesariamente la conversión en autovía.

Desde el punto de vista de la seguridad vial, las vías interurbanas acumulan casi el triple de víctimas mortales que las urbanas, siendo la carretera convencional la que concentra de forma amplia el mayor número de fallecidos y, donde más del 25 % de estos, están asociados a choques frontales y frontolaterales. En los tramos de carretera 2+1 se puede llegar incluso a suprimir completamente la maniobra de adelantamiento con invasión del carril contrario, por lo que resulta evidente, además de ya contrastada, la mejora de seguridad.

Sensible a esta problemática, la revisión de la Norma 3.1-IC de Trazado ya introdujo como elemento de diseño los carriles adicionales de

adelantamiento. Simultáneamente, se han puesto en marcha en nuestro país experiencias pioneras, como las desarrolladas por la Generalitat de Cataluña en la red de su competencia o los proyectos que se están planteando en Navarra.

A la vista de todo lo expuesto, el Comité Técnico de la ATC de Planificación, Diseño y Tráfico viene difundiendo nuevas posibilidades de diseño viario entre las que se encuentran la propia carretera 2+1, a la que ha dedicado tres jornadas técnicas de divulgación y debate. La última jornada, que presenta un exhaustivo estado del arte sobre el tema, se celebró el pasado 26 de abril en el Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas del CEDEX y tuvo como objetivo analizar en detalle esta nueva solución, avanzando en el consenso de los aspectos de diseño que todavía requieren de desarrollo.

El presente artículo resume todos los temas tratados, presentado un completo estado del arte de la solución, lo que permite al lector una rápida puesta al día sobre el asunto. La jornada fue presentada por D. José Trigueros Rodrigo, Director del CEDEX, y contó con más de un centenar de asistentes. A su vez, esta jornada fue aprovechada por el comité para rendir un sincero homenaje póstumo al profesor y maestro de ingenieros D. Sandro Rocci Boccaleri, lo que merece comentario aparte.

Las ponencias técnicas se iniciaron con la presentada por el profesor D. Alfredo García, de la UPV, que señaló el agotamiento del modelo tradicional de carreteras convencionales desde el punto de vista de la seguridad y funcionalidad, siendo necesaria una solución intermedia que evite el salto directo a la autopista, mejorando de forma ostensible la seguridad. También es necesario reconocer el mayor papel suplementario que puede desempeñar la carretera convencional en



Figura 1. Inicio de carril adicional de adelantamiento (Generalitat de Cataluña)

la red de carreteras de altas prestaciones. Presenta el concepto de "Modelo Seguro de Carreteras Convencionales", donde se busca un nuevo equilibrio de las condiciones de seguridad respecto a su funcionalidad, primando las primeras. Para ello, propone racionalizar y reforzar las zonas de adelantamiento, planteando el concepto de "gestión del adelantamiento".

Establece la definición de la carretera 2+1 como configuración continua de tres carriles sobre una misma calzada, donde el central se usa alternativamente para cada sentido, y se evita la presencia de un vehículo opuesto durante la maniobra de adelantamiento (con separación física o no). También se comenta la situación específica que se plantea en el acondicionamiento de carreteras existentes para adaptarlas a este tipo de vía, denominándolas "carreteras 2+1 realistas", que supondrán combinaciones de tramos 2+1 y tramos 1+1.

Después de la presentación de diversas referencias internacionales se exponen las ventajas y los inconvenientes de la carretera 2+1. Respecto al impacto sobre la seguridad, indica que se elimina el ries-

go de colisión frontal pero se puede incrementar la frustración en tramos largos de un solo carril, y pueden aparecer conflictos en la convergencia final. Debe existir una separación clara de sentidos para evitar confusión al usuario. Se observa una reducción significativa de accidentes mortales y accidentes con víctimas, mayor en el caso de utilización de barrera en la mediana.

Sobre el impacto operacional comenta que se aumentan las oportunidades de adelantamiento, reduciendo la demora. Aumenta moderadamente la velocidad media de recorrido y señala que los carriles adicionales tienen una zona efectiva de influencia mayor que la propia longitud del carril. También apunta que no se produce aumento de la capacidad, incluso puede darse una pequeña reducción.

Finalmente, termina la exposición con la presentación de una modelización mediante el programa AIMSUN de microsimulación que ratifica las observaciones comentadas sobre el impacto operacional y comenta la necesidad de una guía de diseño para nuevas carreteras 2+1 y para la adaptación de carreteras existentes a este nuevo modelo.

D. Fernando Angulo, secretario de la Comisión de Trazado, realizó una extensa revisión de la normativa española utilizable en el proyecto de la carretera 2+1, partiendo de las vías lentas y carreteras de tres carriles de la norma de trazado de 1964, recordando que incluso se llegaron a proyectar tramos (N-II, Madrid-Guadalajara).

Recuerda que desde el punto de vista normativo se trata de una carretera convencional y revisa en detalle el contenido al respecto del carril adicional de adelantamiento en la vigente versión de la norma de trazado, que se puede resumir:

- Los objetivos son la mejora del nivel de servicio y la reducción de la accidentalidad.
- Se deben proyectar como carril rápido, por la izquierda del carril objeto de adelantamiento, y no coincidentes con carriles adicionales de rampa o pendiente (Figura 2).
- No se deben percibir como calzadas separadas, para lo que no coincidirán en ambos sentidos.
- Se requiere un estudio de tráfico para la implantación.
- La longitud efectiva de los carriles viene definida entre secciones características de 3,5 m.
- Dispondrán de arcones interiores de 1 m y mediana para la preceptiva implantación del sistema de contención. El ancho del carril adelantamiento será de 3,5 m, más el sobreebancho correspondiente al vehículo patrón. Mantendrán igual pendiente que el carril básico de la derecha. El carril

opuesto debe permitir rebasar a un vehículo detenido.

- Será necesario proyectar cuñas de transición iniciales y finales acompañadas de cebrado. La longitud de la transición crítica puede reducirse a la distancia de parada, especialmente para ramales de enlace o vía colectora-distribuidora.
- Longitud de cada carril no debería ser mayor de 1.500 m.

Apunta el problema práctico que representa la definición del eje de trazado y la necesidad de particularización en el caso de carriles adicionales alternos. Respecto a los giros a la izquierda señala que la presencia de barrera puede dificultarlos. Finalmente señala que la vigente norma de trazado admite mitigaciones de las condiciones de diseño con la correspondiente justificación.

D. Juan Enrique Usechi, de la DGC, inició su exposición comentando que la normativa de señalización no contempla expresamente el caso de la carretera 2+1. Seguidamente se repasa la señalización vertical que se considera necesaria para iniciar el carril adicional (S-50a), anunciar la longitud (S-810), recordar la presencia (S-50d), fin del carril (S-52b), anuncio del final (S-800) y otras señales (adelantamiento y limitación de carril de adelantamiento a vehículos pesados). Se comenta también los posibles reajustes que se pueden introducir en el borrador de la nueva versión de la Norma 8.2-IC. También se llama la atención sobre el problema de emplazar señales verticales en la mediana de poca

anchura. Respecto a la señalización de orientación, se observa la posibilidad de uso de los criterios actuales que rigen para la carretera convencional, el mismo comentario se hace sobre los nudos.

Se explica la posibilidad de utilización de señalización de refuerzo en el tramo mediante carteles que compongan las limitaciones de velocidad o la prohibición de adelantamiento a los camiones.

Sobre las marcas viales a utilizar, presenta la necesidad de aclarar si el carril de adelantamiento debe considerarse especial (M-1.7) o normal (M-1.2), recomendando la primera solución. También propone la utilización de flecha de fin de carril (M-5.4) y cebrados (M-7.1). Señala la importancia de una adecuada disposición de las zonas de cebrado, tanto en las zonas de transición críticas como en el inicio o final de un tramo de carretera 2+1. La desviación de los carriles normales opuestos para crear o anular la separación que permita alojar el carril de adelantamiento deberá proyectarse con una longitud suficiente, conforme al modelo de dos curvas circulares enlazadas, de manera que no exija a los conductores maniobras excesivamente bruscas. Seguidamente se presentan ejemplos de señalización de zonas de transición crítica y no crítica, con atención a los ejes que podría seguir el trazado.

En referencia a la velocidad máxima en el adelantamiento recuerda que aunque se puede rebasar en 20 km/h la velocidad máxima (genérica) en carreteras convencionales, no se pueden superar las limitaciones específicas. Finalmente, termina recordando que la Norma 3.1-IC prescribe la necesidad de establecer una mediana, que el riesgo de accidente será grave o muy grave si no hay anchura suficiente (OC 35/2014) y el posible uso de amortiguadores en su inicio.

El profesor D. Manuel Romana, de la UPM, inició su exposición llamando la atención sobre la impor-

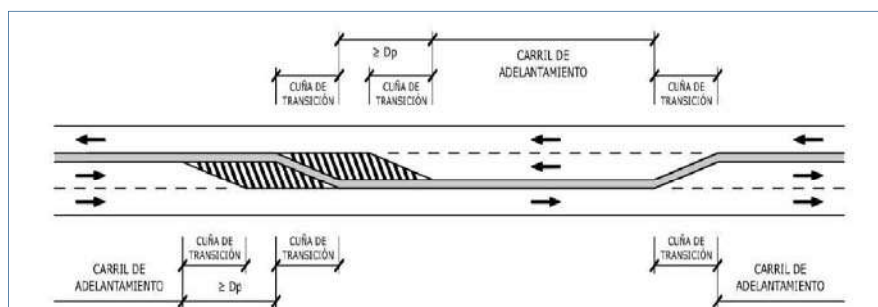


Figura 2. Carriles adicionales de adelantamiento en la Norma 3.1-IC de Trazado.

Homenaje a D. Sandro Rocci

El profesor D. Alfredo García inició la jornada trazando una semblanza de D. Sandro Rocci como ingeniero, profesor y maestro. Destacó su permanente interés y curiosidad por la carretera, poniendo como ejemplo que últimamente estaba recopilando documentación sobre condiciones de diseño singulares y extremas, posiblemente con vistas a la presentación de un nuevo trabajo. Como persona se destacó su vasta cultura; su enorme capacidad de trabajo; su amplia visión, basada en el dominio de cuatro idiomas, además de defenderse en dos más; pero sobre todo, su gran calidad humana. Como ingeniero se repasaron los primeros trabajos en los que intervino; su paso por la Dirección General de Carreteras y la abundante normativa que dejó; su colaboración en el diseño de los circuitos de Jarama y Jerez o la propia M-30; su labor de ponente de documentos como la Guía de Nudos de la DGC; y también su colaboración con la ATC en múltiples actividades, entre ellas, la presidencia durante muchos años del comité de Carreteras Interurbanas. Como profesor y maestro, además de su sobradamente conocida labor docente en la Escuela de Caminos,



Canales y Puertos de la UPM, destacan su colaboración en el manual de referencia sobre la carretera que ha servido para la formación de muchas generaciones de ingenieros y los artículos propios donde abordaba con la máxima profundidad temas de gran interés para el diseño y funcionamiento de la carretera. Toda una incansable labor cuyo denominador común era el amor a la carretera y sólo al alcance de personas especiales.

tancia de la sección transversal de la carretera como DNI de la vía y presentando los rangos de IMD de los tipos de carreteras recogidos en nuestra normativa. Apunta la indefinición de los tipos intermedios y presenta ejemplos de diseño en Francia y UK, con tres carriles iguales o carriles muy anchos para permitir adelantamientos. Seguidamente expone la evolución seguida por Alemania que ha culminado con la inclusión de la carretera 2+1 en la normativa actual.

Comenta que España no cuenta con normativa expresa sobre el diseño de carreteras 2+1 y que no basta con adaptar la normativa ahora existente. Sobre las ventajas de este tipo de vía indica que:

- Garantiza oportunidades adelantamiento.
- Genera menor estrés para conductores por conocer que disponen de zonas para adelantar.
- Facilidad de adaptación en muchos casos.
- La separación de sentidos conlleva mayor seguridad de los adelantamientos.

Respecto a las desventajas apunta:

- El problema que representan las puntas de tráfico.
- Menor accesibilidad.
- Mayor velocidad de recorrido, con problema de diferencias entre usuarios.
- Transiciones de calzada complejas en general.

Al repasar la variables a considerar en el proyecto, indica que la tendencia es que la velocidad de diseño tenga cada vez más en cuenta los usuarios y la presencia de vehículos pesados, y sus velocidades operativas. Seguidamente se presenta un estado del arte de la normativa de distintos países, sobre todo centrado en las características de la sección transversal. Señala que aplicando con rigor la Norma 3.1-IC para una carretera C-100 con carril adicional de adelantamiento se necesitaría una plataforma de 18,5 m frente a los 14-16 m que se deducen del estudio realizado. También se repasan los tratamientos de mediana (pintura, bordillos o balizas) y los tipos de sistemas de contención (cables o barreras).

Sobre los accesos, se presentan la solución de Irlanda y Suecia para cambios de sentido (asas en la secundaria) o la reciente propuesta de Navarra con gloriets lágrima tangenciales.

Como conclusión de la exposición se repasan los diseños normalizados en Alemania:

- Categoría EKL 1, para 110 km/h de velocidad de recorrido y nuevas carreteras.
- Categoría EKL 2, para 100 km/h y adaptaciones de carreteras convencionales existentes.

Admitiendo una posible categoría inferior para adaptaciones complejas que requieran importantes mitigaciones y señalando la necesidad de unas recomendaciones generales sobre la materia.

D. Aquilino Molinero, de la UVA, expuso las conclusiones de un trabajo de fin de grado (TFG) en Ingeniería en Organización Industrial realizado con el Departamento de Estadística e Investigación Operativa de la Universidad de Valladolid. El objetivo ha sido definir los emplazamientos de carreteras



Figura 3. Tratamiento de los carriles centrales de espera (Generalitat de Cataluña)

convencionales ("carreteras 1+1") en los que el riesgo de producirse colisiones frontales y frontolaterales es mayor, y que por lo tanto se podrían requerir carriles adicionales de adelantamiento (convirtiéndose en "carreteras 2+1"). Los resultados de este estudio son de gran ayuda a las administraciones titulares de carreteras para la toma de decisiones respecto a qué localizaciones de "carreteras 1+1" son más susceptibles de convertirse a "carretera 2+1".

Se ha realizado un estudio de "caso-control" basado en una muestra de 588 accidentes (colisiones frontales y frontolaterales) y 588 controles (lugares semejantes a los casos, pero donde no han ocurrido este tipo de colisiones). La herramienta estadística de análisis utilizada ha sido la regresión logística binaria multivariante que permite determinar la influencia de varias variables de exposición (factores de riesgo) sobre la variable dicotómica de respuesta (ocurrencia o no de un accidente del tipo señalado). Para la selección de variables del modelo se ha empleado el método Stepwise. Para analizar la bondad se ha realizado validaciones cruzadas así como las respectivas curvas ROC.

Las variables utilizadas en el modelo han sido las anchuras de

calzada, carril, arcén, la existencia de barrera de seguridad y de hitos de arista, el radio de curvatura y la IMD. De ellos, se ha deducido que constituyen factores de protección la existencia de arcén y la anchura de carril (superior a 3,75 m). Los factores de riesgo más importantes son la IMD (superior a 10.000 v/d) y la anchura de calzada (superior a 6,99 m), así, la presencia de ambos factores supondría un aumento del riesgo de colisión frontal o frontolateral de 260 veces. El modelo construido en este TFG, permite predecir el riesgo de que una determinada localización de una "carretera 1+1" ocurra este tipo de colisiones. La exposición concluye con la aplicación práctica de este modelo a una localización de una carretera 1+1 para establecer el riesgo y la conveniencia de transformarla en una carretera 2+1.

D. Andrzej Kabziński, de GDDKA, presentó la experiencia de la administración polaca en el desarrollo de las carreteras 2+1. En el año 2005 se publicó una primera instrucción para el diseño de carriles adicionales de adelantamiento. En 2007 se publicaron unas recomendaciones para el aprovechamiento de carreteras con arcenes pavimentados para

su conversión en 2+1, en colaboración con la Universidad de Varsovia. En el año 2009 se acometieron diversos proyectos pilotos. En 2012 se redactó una instrucción para el proyecto de carreteras 2+1 en la red nacional. Finalmente, en el año 2016 se propuso el cambio de la legislación sobre el viario público para incluir esta solución.

Seguidamente se presentaron diversas situaciones de conversión de carreteras convencionales existentes en sección 2+1, alcanzando una plataforma mínima final de 13 m, con arcenes de 1,5 m y carril de adelantamiento con un mínimo de 3 m, con mediana balizada. También se comenta la alternativa de plataforma mínima de 14 m más la anchura de la barrera que se aloje en la mediana. Se llama la atención sobre la necesidad de prever vías de servicios para mejorar la accesibilidad.

Seguidamente se presenta la señalización general que se utiliza en las transiciones críticas y no críticas. Se presentan también las soluciones utilizadas para tratamiento de la mediana: marcas viales dobles con balizas o hitos, con o sin resaltos; barreras de cables; bordillos perimetrales con adoquinado,

En la actualidad se dispone en Polonia de unos 60 km construidos de carreteras 2+1, de los que se presentan diversa documentación gráfica. Entre los beneficios que considera conlleva esta solución se enuncian:

- Mejora condiciones del tráfico y ahorro de tiempo de recorrido.
- Reduce colisiones frontales, reduce los accidentes que involucran usuarios vulnerables, proporciona oportunidades adelantamiento y reduce el nivel de agresividad de los usuarios.
- Se puede actuar mejorando secciones existentes.
- Permite el adelantamiento de vehículos lentos.
- Posibilidad de cerrar un carril sin cortar el tráfico.

Se expone un estudio antes y después que pone de manifiesto la mejora sobre la seguridad vial. Entre los inconvenientes se enuncian:

- Restricciones de accesibilidad al entorno de la carretera.
- Presenta inconveniente si hay presencia de usuarios vulnerables.
- Es necesaria la reconstrucción de las estructuras.
- Pueden ser necesarias paradas de autobús y pasos de cebra fuera de las intersecciones.
- Se puede afectar a los transportes especiales.
- La barrera condiciona la visibilidad en curvas horizontales.
- Son necesarios más recursos para hacer frente a la vialidad invernal.

Apunta que son necesarios acceso de emergencia y tener previsto un plan de evacuación. También se recomienda entrenamiento en el desmontaje de las barreras.

Se presenta un estudio sobre la eficiencia de los sistemas de separación de la mediana de carreteras 2+1 desarrollado por la Universidad de Varsovia. En este estudio se han inventariado los tramos existentes de carretera 2+1 y contabilizado la IMD que soportan, alcanzando los 17.500 v/d con porcentajes de pesados del 43 %. Valorando a través del número de accidentes por vehículo-km en un periodo de tres años, se obtiene que el mejor resultado se obtiene con barrera en la mediana, seguido en orden de las soluciones de doble marca vial con hitos, balizas y sin ningún elemento.

Entre las conclusiones se comenta que la carretera 2+1 es una alternativa en la red nacional para tramos de sección 2+2 que no reúnen todas las condiciones para su ejecución debido al menor esfuerzo inversor requerido, a la mejora de las condiciones de seguridad y a la reducción del tiempo de recorrido. Se recomienda su utilización fuera de zonas urbanas, que los giros a la izquierda se realicen en intersecciones y que

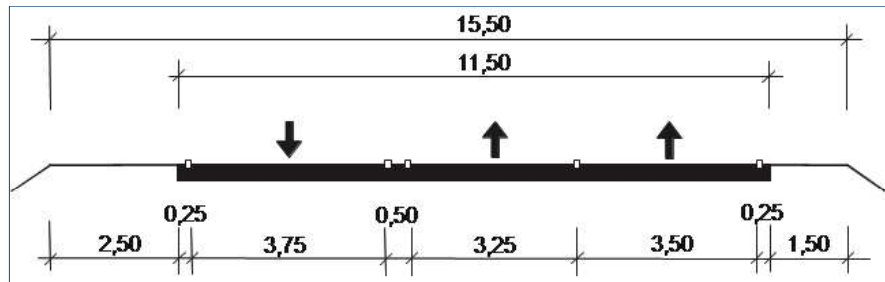


Figura 4. Sección de carretera 2+1 tipo RQ 15,5 de la norma alemana de 1996 (Lemke, 2018).

Clase de Diseño	Velocidad de Planificación	Modo Operación	Modo Adelantamiento	Nudos
EKL 1	110			
EKL 2	100			
EKL 3	90			
EKL 4	70			

Figura 5. Clases de diseño carreteras convencionales interurbanas en norma RAL (Lemke, 2018)

los carriles adicionales tengan longitudes entre 700 y 1.800 m.

Dña. Kerstin Lemke, de BAST, después de exponer la estructura de la red viaria alemana y la parte correspondiente a las carreteras federales, presentó los datos de accidentalidad y tipologías del año 2016, concluyendo en la necesidad de reducir las velocidades, mejorar las intersecciones, proporcionar adelantamientos seguros y considerar los usuarios vulnerables.

Seguidamente expuso las secciones transversales de las carreteras recogidas en la normativa anteriormente vigente donde para facilitar el adelantamiento se optaba por carriles de 3,75 m de anchura. Comenta que en 1980 se empezaron a realizar estudios piloto para buscar secciones transversales intermedias entre las autopistas y las carreteras convencionales, considerando por primera vez la inclusión de carriles adicionales de adelantamiento. Un estudio comparativo de la accidentalidad puso de manifiesto la ventaja de esta solución sobre el resto,

que pasaban por ampliar la anchura de arcenes o carriles. Consecuentemente, fue introducida en la normativa de 1996 con una sección de 15,5 m con arcenes sin pavimentar (Figura 4).

Con posterioridad, el proyecto piloto "AOSI" para mejorar la seguridad vial abordó el problema de concretar las condiciones de diseño, realizando un estudio antes-después sobre cinco tramos. La experiencia adquirida viene recogida en la normativa vigente para carreteras interurbanas (RAL), que recoge cuatro tipos de carreteras reconocibles por sus marcas viales (Figura 5).

Seguidamente pasó a explicar los tipos que se basan en la solución 2+1. El primer tipo corresponde a la Clase 1 (EKL1), con IMD entre 12.000 y 22.000 v/d, con las siguientes características:

- 40 % zonas de adelantamiento en ambos sentidos.
- Zonas adelantamiento de 1.000 a 2.000 m.
- Mediana de 1 m de marca vial (interior verde).

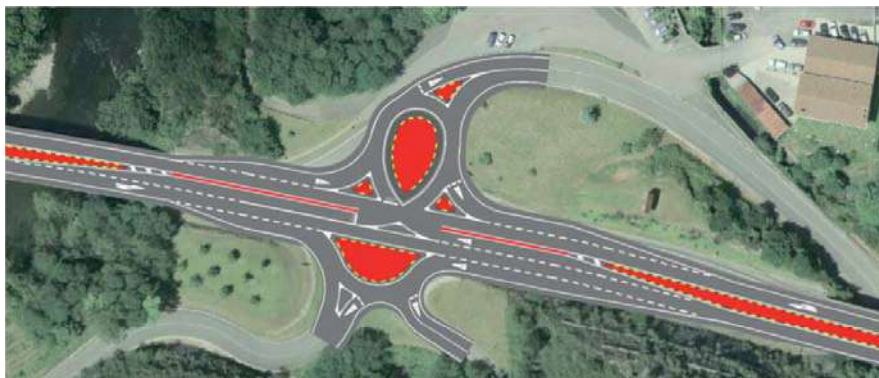


Figura 6. Ejemplo de intersección, proyecto N-121-A Pamplona-Behobia (Arizaleta y Morezuela, 2018)

- Apartaderos de emergencia cada 1.000 m en cada sentido.
- No intersecciones a nivel.
- Circulación exclusiva de automóviles.

El segundo tipo, Clase 2 (EKL2), con IMD entre 8.000 y 15.000 v/d, utiliza las siguientes características:

- 20 % zonas de adelantamiento en ambos sentidos.
- Zonas adelantamiento de 600 a 1.200 m.
- Mediana de 0,5 m de marca vial.
- Intersecciones con semáforo.

Las transiciones no críticas son relativamente cortas, de 30 m, y las críticas mayores de 180 m. Se utilizan flechas de retorno en el carril adicional. El coste medio de los accidentes fuera de los nudos sitúa a la solución 2+1 entre la carretera convencional y la autopista. Otro reciente estudio sobre tramos en servicio pone de manifiesto una reducción en el número total de accidentes del orden del 12 %, además de la reducción de los más graves, si bien se detecta un aumento en las intersecciones, lo que está apoyando la necesidad de semaforizarlas.

Finalmente, concluye su presentación exponiendo las curvas específicas de la carretera 2+1 que se incluyen en el Manual de Capacidad alemán de 2015 (HBS).

D. Sebastián Guerrero, de la empresa ESTEYCO, presentó varias experiencias de proyecto y construcción desarrolladas a nivel nacional. A partir del "Programa de implantación de separadores de flujos de tráfico" de la Generalitat de Cataluña

se procedió al análisis en la red de los accidentes frontales y frontolaterales, proponiendo cuatro tipos de soluciones para la separación: doble línea continua con bandas rugosas y captafaros, cebreado central con balizamiento, barrera de hormigón central y construcción de una plataforma 2+1. La solución 2+1 se aplicó inicialmente a tres tramos:

- Tramo N-II entre el Maresme-Barcelona, que incluye un tramo de N-II entre Montgat y Mataró con IMD de 30.000 veh/día por sentido. Se implantó en 2010 y ha proporcionado una reducción de accidentalidad del 45 %.
- Proyecto del tramo de la carretera C-16 entre Berga-Bagà (Barcelona), que dado el elevado coste de construcción de una autovía se propone una sección 2+1 con barrera móvil.
- Proyecto de un tramo de la carretera C-55 (Barcelona) entre Monistrol de Montserrat y Castellbell i el Vilar (Barcelona), que incluye una travesía. En esta compleja actuación las intersecciones se implantan con carriles adicionales pintados de naranja, son necesarios voladizo para ganar sección transversal en algunos puntos, la mediana es de 0,60 con baliza cilíndrica, los carriles dobles son de 3,2 m de anchura y el de sentido opuesto de 3,5 m, considerando además accesos para vehículos de emergencia.

Por otro lado, en Navarra se ha redactado el proyecto para la conver-

sión en 2+1 de la carretera N-121-A (63 km), con una IMD de 11.000 v/d y un elevado tráfico de vehículos pesados, condiciones que provocan un 25 % de colisiones frontales. La mediana es de 1 m y se resuelve con marca vial, incluyendo el proyecto soluciones novedosas para las intersecciones (Figura 6).

El profesor D. Ignacio Hinojosa, de la empresa AYESA, desarrolló un estudio del tratamiento internacional de la solución 2+1. La presentación se inició con las experiencias pioneras de Suecia, donde plataformas anchas 7/13 han sido progresivamente adaptadas a la configuración 2+1, utilizando incluso barrera de cable como elemento separador, con unos resultados reseñables en cuanto a reducción de la accidentalidad y satisfacción de los usuarios elevados. Seguidamente, en la misma línea, se comentan los casos de Dinamarca, Alemania, Holanda, Francia y Reino Unido, presentando un interesante cuadro con los principales parámetros de diseño adoptados por cada país (Figura 7).

Sobre esta tabla comparativa se analizan varios parámetros y sus valores, tratando de razonar y justificar su definición e intervalos, en concreto los correspondientes a velocidad, IMD, anchos de carril y arcén, separación entre sentidos y tipo de barrera en mediana.

Seguidamente se procedió a revisar con mayor detalle el caso particular de Polonia, donde la Dirección General de Carreteras Nacionales y Autovías (GDDKiA) lleva ya construidos más de 50 km de carreteras 2+1. El diseño se ha basado en una instrucción de 2005, anteriormente mencionada, que considera velocidades de diseño entre 50 y 120 km/h, tráfico entre 5.000 < IMD < 25.000 veh/día, aplicación a tramos no urbanos, plataforma de 14 m con 11 m pavimentados, carril rápido reducible a 3 m y longitudes del carril adicional entre 1.000 < L < 2.500 m. Para la determinación de la visibili-

Vías 2+1. Categoría												
Límite de Velocidad (km/h)			90 - 110	100 - 110	90 - 100	80 - 90	85 - 120	90	85 - 120	90 - 100	60 - 120	60 - 100
IMD (x 1,000)			4 - 20	8 - > 22	14	7 - 14	11,6 - 17,25	10 - 20	10	10 - 20	5 - 25	5 - 30
Longitud de la Red Viaria (km)			> 1800	> 360	277	> 1000	> 850	800	> 800	200	> 200	< 50
Longitud Carril Adelantamiento (km)			1,0 - 2,5	1,0 - 2,0	1,50	1,55	1,0 - 2,0	1,0 - 1,4	-	1,0	0,80 - 1,50 (rec); 2,0 (máx)	< 1,50
Ancho Carril (m)	2 Carriles	Izq. (*)	3,25 - 3,50	3,25	3,25	3,50	3,50	3,0 - 3,50	3,50	3,25	3,0 - 3,50	3,50
		Der.	3,25 - 3,50	3,25 - 3,50	3,50	3,75	3,50	3,0 - 3,50	3,50	3,25	3,0 - 3,50	3,50
	1 Carril		3,75	3,50 - 3,75	3,75	3,75	3,50	3,0 - 3,50	3,50	3,0	3,50	3,50
Ancho Arcén; Izq-Der (m)			0,50 - 1,0	0,75 - 1,50	1,25	0,50	0,50 - 1,0	1,50	1,0	0,80	0,50	1,0 - 2,50
Ancho de la Sección Tipo (m)			13 - 14	12 - 12,50	13 - 15	13	13,50 - 15	15,50	13,50 - 15	12,30 - 14,50	10,0 - 11,0	15,50 - 18,50
Isleta Central Transiciones (m)		Crítica	300	180	500	300	300	300	500		300	205 - 500
		No Crítica	100	≥ 30	50	100	50	100	-		100	60 - 125
Tipo de Mediana			Cable Acero	Marca Vial	Cable Acero	Marca Vial / Cable Acero	Cable Acero	Marca Vial / Perfil NJ	Marca Vial	Marca Vial / Cable Acero	Marca Vial / Cable Acero	Barrera Rígida
Separación entre sentidos (m)			1,25 - 1,75	1,0	0,50 - 1,0	1,0	1,0	0 - 1,50	1,0	1,20 - 3,40	0,50	1,0
Bermas (m)			0	1,50	1,50	1,50	2,50	0 - 1,0	2,50	1,65	1,0 - 1,25	0,50 - 1,0

(*) El carril de adelantamiento es el denominado izquierdo, el de menor anchura con carácter general.

Figura 7. Resumen de los parámetros de diseño Carreteras 2+1 (Hinojosa, 2018)

dad en las transiciones el objeto se supone a 0,3 m de altura y el punto de vista del conductor se sitúa a 1 m. Las intersecciones son a nivel con carriles centrales y la justificación de implantación se basa en la IMD a los 10 años, que debe ser superior a un valor considerado crítico (entre 3.700 y 4.500 v/d). Finalmente, se presenta una estimación de los costes que pueden suponer distintas formas de ampliación a una configuración 2+1, agrupados en 4 sub-grupos:

- A: Vías de 7 m y arcenes de 2 m con pavimento homogéneo: 120.000 €/km.
- B: Vías de 7 m y arcenes de 1,5 m con pavimento homogéneo: 180.000 €/km.
- C: Vías de 7 m y arcenes de 1,5-2 m con sustitución de su pavimento: 300.000 €/km.
- D: Vías de 7 m y arcenes de menos de 1,5 m con sustitución de su pavimento: 360.000 €/km.

D. Ferran Camps, de la Generalitat de Cataluña, describió con mayor detalle los tramos construidos en esa comunidad y las experiencias que se están obteniendo de la explotación. Desde el objetivo de

alcanzar la “Visión Cero” para los accidentes frontales, y en el marco de una planificación estratégica, se desarrolló el programa de separaciones de sentidos anteriormente mencionado para un periodo 2016-2020 y un presupuesto de 46,6 M€. Los objetivos son la disminución de la accidentalidad por choque frontal y frontolateral, en concreto, alcanzar una reducción del 25 % de víctimas mortales, del 20 % de víctimas graves y, del 10 % de víctimas mortales y graves dentro del colectivo de motoristas. Ya se encuentran en servicio 22,9 km que corresponden a cuatro obras, 16,6 km están en ejecución y 77,9 km en proyecto. Seguidamente se pasa a la presentación detallada de los tramos por corredores. Los criterios generales de diseño se basan en conseguir una plataforma mínima de 14 m, ha sido necesario diseñar nueva señalización vertical, barrera central metálica de baja altura con inclusión de pasos de mediana y protección de motoristas, cunetas reducidas o incluso colectores, protecciones en taludes, reordenación de accesos, fibra óptica por el arcén, intersecciones a nivel con carriles adicionales pintados, necesidad de

pasos de fauna, creación de apartaderos y elementos especiales en las transiciones. Se debe tener presente que los ciclistas en tramos con arcén reducido ocupan la calzada y se deben contemplar soluciones para evitarlo. Seguidamente señala que las experiencias a la fecha durante la explotación se puede resumir en:

- Gestión de incidencias leves. Donde se recomienda la implantación de apartaderos y la puesta en marcha de protocolos de intervención para la atención rápida a las incidencias, basados en una sectorización y en una muy buena coordinación con los equipos de emergencia.
- Gestión de incidencias graves. Donde se tiene que considerar la posibilidad de acceso de grúas y donde resulta importante la comunicación de las incidencias de forma rápida y clara a los usuarios.
- Gestión de incidencias a nivel de corredor. Donde deben estar previstos desvíos y el apoyo de la señalización variable.
- Trabajos de conservación. Donde debe prever protocolos de trabajo, la posible coordinación con



Figura 8. Barrera metálica de baja altura en mediana (Generalitat de Cataluña)

autopistas paralelas o el aumento de los trabajos nocturnos.

- Vialidad invernal. Donde las predicciones requieren la limitación preventiva del tráfico de camiones.

Se indica también la necesidad, que cuando se prevea que la vía funcione al límite de su capacidad, se gestione el cierre de los carriles adicionales. Se apunta que en los tramos nuevos se podría ofertar a los usuarios un plus de velocidad (110 km/h).

Dentro de las conclusiones se presenta la reducción significativa de accidentes mortales y graves en todos los tramos ejecutados, y se destaca las posibilidades que presenta esta solución de cara al desarrollo de las carreteras inteligentes.

D. Rafael López Guarga, de la DGC, presentó un posible tramo de la Red de Carreteras del Estado susceptible de un estudio de conversión en Carretera 2+1. En concreto, la presentación se centra en describir una solución basada en la evolución de los siguientes casos:

- Tramo de la carretera N-232 entre Figueruelas y el L.P. con Navarra, con una IMD de 13.167 v/d y un 48,6 % de pesados y altas tasas

de accidentalidad. En este tramo se adoptaron soluciones de bajo coste, basadas en prohibición del adelantamiento, reducción de velocidad, el refuerzo de la señalización o la implantación de bandas sonoras, alcanzando una reducción muy significativa de los accidentes. Sin embargo, aunque se trata de un itinerario de largo recorrido y los resultados de la experiencia constataron que sería aceptable la conversión en 2+1, en ese tramo hay mucha implantación industrial que genera tráfico local, por lo que finalmente se procedió a su conversión en autovía (A-68), estando las obras actualmente en ejecución.

- Tramo de la carretera N-2 próximo a la AP-2 en los Monegros, con una IMD de 8.200 v/d y un 65,1 % de pesados y tasas igualmente altas de siniestralidad. Para este problema se presentan varias posibilidades de actuación que van desde las medidas de bajo coste, la conversión en 2+1 o la propia conversión en autovía, bien con características geométricas similares a las autovías de primera generación

o bien de nueva construcción. Dadas las condiciones del tramo, aquí sí que es fundamentalmente itinerario de bajo recorrido y su trazado en planta es con largas alineaciones rectas, se considera idóneo para el desarrollo de un tramo piloto de la solución 2+1. La carretera dispone de una sección REDIA 7/12 que podría ser adaptada sin necesidad de ampliación adoptando una mediana de 1 m con balizas (ejemplos semejantes disponibles en Portugal) o mediante un ligero ensanche de 1,5 m para incluso implantar una mediana con barrera rígida.

Como conclusiones indica que la Carretera 2+1 constituye una solución óptima de bajo coste que encaja en la coyuntura económica actual, proporciona una mejora de la Seguridad Vial, permite una evolución posterior a autovía, que las secciones REDIA exigen muy poca obra civil para su adaptación y que resulta necesario analizar con detalle las soluciones de los accesos.

Finalmente, Dña. Rosalía Bravo, Subdirectora General de Proyecto de la DGC, cerró la jornada repasando las fortalezas de la solución 2+1 (mejora de la seguridad vial por la supresión de la maniobra adelantamiento, solución intermedia entre carretera convencional y autovía, posibilidad de explotación inteligente) y los aspectos que deben ser expresamente considerados (nudos, diseño de la separación entre sentidos o la integración en el territorio), señalando la necesidad de un estudio a medida de cada caso. Respecto a la normativa vigente al respecto indica que es suficiente para iniciar el desarrollo, si bien a medio plazo se requiere actualización y coordinación con la DGT. Se concluye indicando que se trata de una solución que deberá incluirse en el análisis de alternativas para determinados casos. s centrales de espera (Generalitat de Cataluña). ❖