

# **La IMD máxima que puede soportar un lazo de carretera de dos carriles. El caso de Madrid**

**David Hernando Arroba**

Investigador, UPM, España

**Manuel G. Romana García**

Profesor Titular de Universidad, UPM, España

## **RESUMEN**

Esta comunicación se centra en la discusión de la IMD máxima que puede ser soportada por un lazo de una carretera de dos carriles. Se estudia el caso de la Comunidad de Madrid, observando las IMD de carreteras que son duplicadas desde 1990.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La capacidad de las carreteras de dos carriles es la magnitud que más ha variado a lo largo de los años, partiendo de un valor muy bajo en 1965. No ha cesado de subir desde entonces, y algunos autores (Elefteriadou et al., 2006) que han manifestado la dificultad de observar la capacidad de una carretera de dos carriles, dudan de que se pueda llegar a alcanzar. ¿Por qué? Porque siempre que se llega a intensidades elevadas, alguna característica externa produce un colapso de la circulación.

En teoría, el caso más claro de cambio de características que induce el colapso es un aumento considerable de la pendiente. Es conocido (Transportation Research Board, 1985; Galán, 1990) que las carreteras en terreno accidentado tienen una capacidad inferior a las de terreno llano. La razón llega desde 1 a 0,89, según el Manual de Capacidad de 1985. Esto ha sido confirmado por Luttinen (2008).

Entonces, si la capacidad se alcanza pocas veces y casi nunca se observa, ¿cómo se toma la decisión de convertir una carretera de una sola calzada en una de dos calzadas, una por sentido? Tradicionalmente, la respuesta fue “cuando se llega a una IMD de 10.000 veh/día”. Esta comunicación parte de esa tradición oral y explora la realidad en la Comunidad de Madrid.

## **2. LA TRADICIÓN**

Tradicionalmente, se ha considerado que las carreteras de dos carriles llegan a una IMD de 10.000 veh/h. Esta cifra puede alcanzarse, por ejemplo, considerando:

- 1) que la capacidad de estas vías es de 2000 veh/h en conjunto (valor adoptado en el Manual de Capacidad de 1965),

- 2) que la intensidad de la hora 30 vale el 20% de la IMD, y
- 3) que el diseño se hace basándose en la hora 30.

Como todos los números mágicos, este sigue vigente en la tradición oral: muchos ingenieros repiten este valor como un mantra. ¿Es este valor cierto? Es preciso responder a esta pregunta desde, al menos, tres perspectivas: los componentes de esta afirmación, el comportamiento habitual en Estados Unidos hasta los años 80 del siglo XX, y la costumbre en España.

### 2.1. Los componentes del razonamiento tradicional

Desde hace mucho tiempo se sabe que la capacidad de una carretera de dos carriles supera claramente el valor de 2000 veh/h inicialmente adoptado. Este valor está incluido en el Manual de Capacidad de 1965, asumiendo que la capacidad era la misma que la de un carril de autopista. Puesto que no se observaron intensidades tan elevadas, se realizó esta asunción.

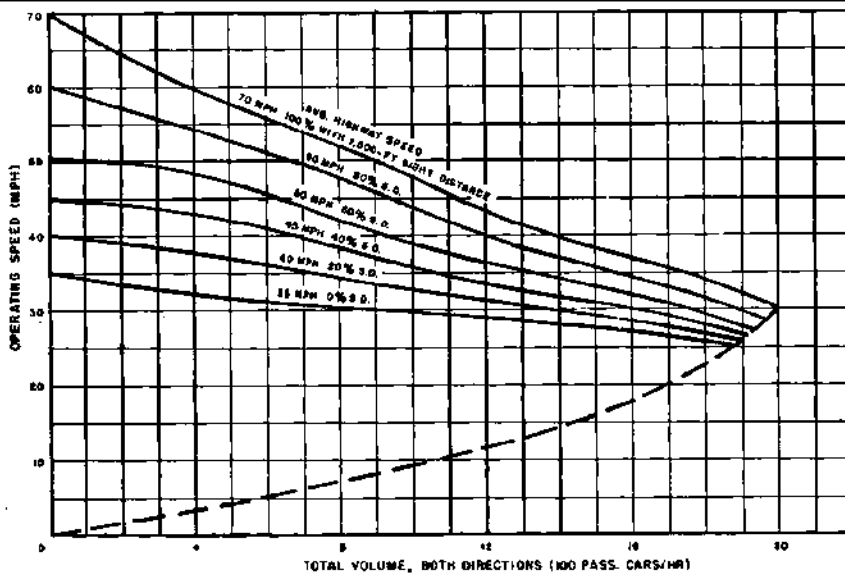


Figure 3.40. Typical relationships between total volume for both directions of travel and operating speed under ideal uninterrupted flow conditions on two-lane rural highways. (Source: BPR, combined data from various studies)

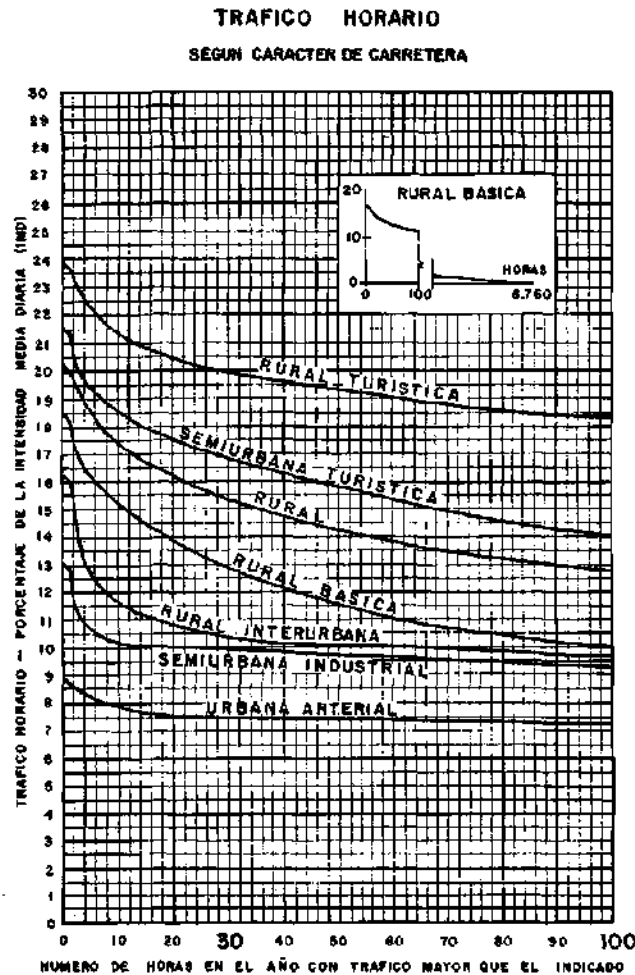
**Fig. 1 – Curvas intensidad–velocidad en el Manual de Capacidad de 1965**

Sin embargo, ya en la década de 1970 se sabía que este valor era erróneo, dado que se habían medido intensidades superiores a los 3000 veh/h en Holanda, Japón y España. En Estados Unidos no se prestó demasiada atención a esta información, por razones derivadas del segundo aspecto antes mencionado, que se trata en el siguiente punto.

En cuanto a la proporción de la IMD en la hora 30, las curvas disponibles a mediados de los años 60 eran relativamente básicas. Como puede observarse en la Tabla 1, contenida en la Norma técnica para proyectos de carretera de la Comunidad Autónoma del País Vasco (1989), y en la figura 2, de Kraemer et al. (1984), el valor del 20% resultaba alto.

**Tabla 1 – Valor aproximado del tráfico horario determinante. (Gobierno Vasco, 1989)**

CLASE	TIPO DE CARRETERA EN % DE LA IMD	VALOR DE LA IH <sub>100</sub> EN % DE LA IMD
A	Vías de circulación urbana	8,00%
B	Vías de circulación local	9,50%
C	Vías de circulación territorial	9,50%
D	Vías de circulación interterritorial	10,50%
E	Vías de circulación turística	15-20%



**Fig. 2 – Intensidad de la Hora 30 (Kraemer et al., 1984)**

## 2.2. Comportamiento habitual en EE.UU. hasta la década de 1980

En Estados Unidos, hasta la década de 1980 se llevó a cabo una política de construcción de carreteras con un gran impulso, con soluciones que iban por delante de la demanda (con intensidades bajas y medias): se llegaba rápidamente a una carretera de calzadas separadas, con un criterio muy flexible de lo que empieza siendo una carretera sin mediana y termina siendo una autopista propiamente dicha.

Esta flexibilidad permitió un aprovechamiento inteligente del territorio y una accesibilidad suficientemente adecuada a la demanda de tráfico. En efecto, pasar inexorablemente de una

carretera convencional a una autopista no es necesariamente bueno y, cuando las intensidades son bajas, debería tenderse a mejorar la seguridad vial sin penalizar el acceso a la vía. También es cierto que esta flexibilidad debe combinarse con una adecuada defensa de la carretera y sus bandas de ocupación: si cuando se necesita una autopista es imposible construirla, el razonamiento anterior pierde mucha fuerza.

Sea como fuere, incluso en tiempos de escasez de inversión y fuerte competencia por los fondos, se sigue hablando en EE.UU. de que antes de que se alcance la capacidad las carreteras de dos carriles se convierten en carreteras con cuatro carriles (Harwood et al., 1999). Además, Elefteriadou et al. (2006) indican que es muy difícil encontrar tramos en los que se produzca congestión (por causas internas).

### **2.3. La costumbre en España**

En España tradicionalmente se consideró que la conversión de carreteras en vías de calzadas separadas era una cuestión del Ministerio de Fomento, por un lado, y de los ayuntamientos, por otro. En general, los tráficos elevados eran coto de una u otra administración y las autonomías eran entidades jóvenes, buscando su identidad concreta y con una red que, salvo excepciones (principalmente País Vasco) no tenía intensidades de circulación demasiado altas.

En estas condiciones, la decisión de construir calzadas separadas venía condicionada por itinerarios de alta seguridad y fiabilidad en tiempos de recorrido en días punta, más que de alta capacidad. De hecho, en general se ha sido moroso con la disposición de carriles adicionales por encima de dos por calzada, como si la definición de autopista implicara solo dos carriles.

## **3. PROBLEMAS QUE PRESENTA LA TRADICIÓN**

La tradición presenta el problema de ignorar el verdadero límite funcional de las carreteras. Se manejan valores arbitrarios que, como se verá en el caso de la Comunidad de Madrid, no se utilizan en la realidad. Sería bueno que en estudios de planificación de vías y de actuaciones urbanísticas se contara con criterios técnicos sólidos y justificados, por encima de una tradición oral discutible, discutida y seguida arbitrariamente.

## **4. RAZONES PARA DUPLICAR UNA CARRETERA**

Es posible abordar la duplicación de la calzada por cuatro tipos de razones: demanda, seguridad de la circulación, continuidad de itinerario y ordenación de la accesibilidad.

Cuando la demanda crece, el funcionamiento de la carretera empeora, si bien se agrava por la presencia de intersecciones o accesos. Sin necesidad de que la calidad de la circulación empeore, puede ser oportuno abordar la construcción de vías de calzadas separadas por

razones de seguridad (colisiones frontales son inadmisibles o distracciones frecuentes). El coste de la medida es muy elevado, pero la presión social es evidente en estos casos. Puede recordarse un accidente entre un camión y un autobús en la provincia de Soria, con buena visibilidad y clima adecuado: la colisión ocurrió, perecieron niños y en prensa y televisión se pidió durante algunos días que se abordara la construcción de calzadas unidireccionales para evitar estos accidentes. Con la aparición de movimientos sociales organizados (RACC, RACE, CEA, Ponle Freno) la capacidad de la administración para resistir iniciativas poco claras técnicamente se ha reducido. Se puede aquí mencionar la señalización de los tramos de concentración de accidentes, que se conocen con posterioridad.

Cuando se plantea un itinerario completo, se construyen autovías y autopistas en tramos con intensidades bajas. Por último, en la ordenación de vías con numerosos accesos es habitual que se convierta la carretera en una vía de doble calzada, con vías de servicio en ambas márgenes.

**Tabla 2 – Tramos de carretera convertidos en la Comunidad de Madrid desde 1993 (elaboración propia)**

	Ctra	Desde	Hasta	2008	2004	2003	2000	1993
1	M-100	M-106 pk 5	A-1 pk 23				M	C
2	M-106	Algete	M-100 pk 22				M	C
3	M-108	A-2 pk 20	Base aérea de Torrejón				M	C
4	M-115	A-2 pk 17,5	M-108 pk 2,5 Base Torrejón	A	C			
5	M-206	M-206 pk 8	M-206 pk 10				M	C
6	M-206	M-206 pk 15 S. Fern de H.	M-45				M	C
7	M-30	A-1	A-1 (B° del Pilar con semáforos)				A	C
8	M-40	A-1 pk 13	A-1 pk 13				A	C
9	M-405	Fuenlabrada	Humanes	M	C			
10	M-407	M-406 pk 7 Leganés	M-506 pk 12 Fuenlabrada				A	C
11	M-408	A-42 pk 20 Parla	M-506 (Pinto)	A	C			
12	M-45	M-40 pk 29 Carab. Alto	A-2 pk 17 Parque emp. S. Fernando				A	C
13	M-50	A-1 pk 20 S. S. Reyes	A-2			A		C
14	M-501	M-40	pk 2,5 M-501 (Prado Espino)			A	C	
15	M-501	M-50/M-511 Boadilla Mon	M-600 Brunete			A	C	
16	M-501	M-600 Brunete	M-510 Chapinería	A	C			
17	M-503	M-40	M-50 Majadahonda				A	C
18	M-503	M-516; M-50 Majadahonda	M-600 Vva. de la Cañada	A	C			
19	M-505	M-50	Monterrozas - pk 6 M-505				M	C
20	M-505	Monterrozas - pk 6 M-505	Molino de la Hoz - pk 9 M-505				M	C
21	M-506	M-501 pk 10 Villav. Odón	A-5, pk 15 Alcorcón/Móstoles				M	C
22	M-506	A-4 pk 23 Pinto	M-841, San Martín de la Vega			A	C	
23	M-511	M-502	M-40				A	C
24	M-511	M-40	pk 7,5 M-511			A	C	
25	M-511	pk 7,5 M-511	M-50 Boadilla del Monte			A	C	
26	M-616	M-607 pk 17	Alcobendas				M	C
27		M-110 pk 2,5	A-10 Parque J.Carlos I		A	C		

A=autopista/autovía, M=multicarril; C=convencional

## 5. LA EXPERIENCIA DE LA COMUNIDAD DE MADRID

### 5.1. Datos

Se ha revisado la historia de las conversiones de carreteras en autovías o autopistas desde 1993 hasta 2009 en la Comunidad de Madrid, contando con los aforos publicados en este período.

La tabla 2 presenta la definición y fecha de conversión de 27 tramos de carretera, considerando un plazo de conversión de 4 años desde la fecha de decisión de acuerdo con las siguientes fases:

- Redacción de la memoria resumen (2 a 4 meses)
- Consultas con organismos públicos (variable)
- Estudio informativo (6 meses)
- Información pública + DLA (6 a 8 meses)
- Proyecto de construcción (6 a 9 meses)
- Construcción (18 a 20 meses)
- TOTAL: 41 a 48 meses

### 5.2. Resultados

En base al estudio de los datos disponibles en la Comunidad de Madrid, cabe destacar el comportamiento de dos grupos de carreteras.

En primer lugar, en las carreteras convencionales con IMD superior a 1000 en 2008 y últimos aforos antes de duplicar (tabla 3), se observa que las intensidades soportadas por las carreteras convencionales superan en muchos casos los 10000 veh/día. El tercer cuartil está por encima de 17000 veh/día, y el número de tramos es elevado (32). No se detecta una congestión especialmente elevada en estos tramos y no hay quejas directas de los usuarios. En consecuencia, estas intensidades son válidas y admisibles.

**Tabla 3 –Carreteras convencionales con IMD superior a 1000 en 2008 y últimos aforos antes de duplicar (elaboración propia)**

Media	14213	veh/día
N	32	
min	8359	veh/día
max	20738	veh/día
Q1	11306	veh/día
Q2	13467	veh/día
Q3	17251	veh/día
Desv estándar	3813	veh/día

En segundo lugar, en las carreteras convencionales ampliadas a partir del año 2003 (tabla 4), puede apreciarse que la decisión de conversión no se toma únicamente por la intensidad aunque, en los casos en los que ésta es elevada, resulta un factor notable.

**Tabla 4 –Carreteras convencionales ampliadas a partir de 2003 (elaboración propia)**

Media	14688	veh/día
N	7	
min	9729	veh/día
max	19509	veh/día
Q1	12091	veh/día
Q2	13883	veh/día
Q3	17758	veh/día
Desv estándar	3703	veh/día

## **6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Los resultados muestran que el valor de intensidad máxima de 10000 veh/día está totalmente injustificado en España, dado que el comportamiento de los conductores en la red de la Comunidad de Madrid no es diferente de los demás ámbitos. ¿Cuál puede ser la justificación de estos valores? Con el mismo esquema seguido en el razonamiento tradicional, se puede admitir que:

- a) El reparto por sentidos en hora punta es de 70/30.
- b) La capacidad en el sentido más cargado es de 1700 veh/h. Este valor es el indicado por el Manual de Capacidad del 2000 y ha sido comprobado como valor máximo razonable por Romana (1997) y Núñez y Romana (2009).
- c) La intensidad de la hora 100 es el 14% de la IMD (caso pesimista en el gráfico anterior)
- d) En un estudio realizado en la M-503 antes de la duplicación, y no publicado, se concluyó que cuando las intensidades diarias son muy elevadas, lo que ocurre es que la hora punta se extiende en el tiempo, ya que algunos conductores varían su hora de salida. Por tanto, el factor de hora punta está muy próximo a la unidad.

Bajo las hipótesis anteriores, la IMD para la cual se alcanza la capacidad es de 17346 veh/día, similar al Q3 de las dos muestras. Si el carácter de la carretera es turístico y no se desean colapsos excesivos en días clave (por ser mal tolerados por los usuarios), el valor del percentil de la IMD puede subirse al 25%, obteniendo como resultado una IMD de 9714 veh/día.

## **7. CONCLUSIONES**

Se puede concluir que la ampliación de una carretera convencional, por motivos de intensidad de tráfico, debe considerarse a partir de los 13000 a 15000 vehículos/día, ya que el plazo de

realización de los estudios y de ejecución de la obra harán que se alcance la capacidad aproximadamente en el momento de la conversión (17000 a 18000 veh/día). Además, el anuncio de la ampliación mitigará el eventual descontento salvo que ésta se retrase demasiado.

En el caso de las carreteras con fuerte carácter turístico, la IMD para considerar la duplicación sí es del orden de 10000 veh/día.

## **REFERENCIAS**

COMUNIDAD DE MADRID (1989, 1990, 1991, 1992 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 , 2006, 2007, 2008). Aforos en carreteras de la red de la Comunidad de Madrid, Madrid, España.

ELEFTERIADOU, L., HALL, F.L., BRILON, W., ROESS, R.P., ROMANA, M.G. (2006). *Revisiting the Definition and Measurement of Capacity. 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, 25-29 July 2006.* Yokohama, Japón.

GALÁN, P.M. (1990). Cuantificación de diversas magnitudes de tráfico (capacidad, velocidad, nivel de servicio) en carreteras de una calzada con dos carriles. *Revista Rutas*, Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, España.

GOBIERNO VASCO (1989). Norma técnica para proyectos de carretera de la Comunidad Autónoma del País Vasco (y para conservación de carreteras). Aprobada por Decreto 283/89. Gobierno Vasco, Vitoria, España.

KRAEMER, C., SÁNCHEZ BLANCO, V., GARDETA, J. (1984) *Ingeniería de Tráfico*. ETSI Caminos, Canales y Puertos, Madrid, España.

LUTTINEN, R.T. (2008). Some effects in two-lane highways. *Presentation at the two-lane subcommittee meeting*, HCQS Committee, Transportation Research Board, January 2008, Washington.

NÚÑEZ, M., ROMANA, M.G. (2009). Avance de resultados de aforos en varios tramos de la Comunidad de Madrid. No publicado.

ROMANA, M.G. (1997). Evaluación práctica del nivel de servicio en carreteras convencionales de dos carriles en España. Centro de publicaciones, Ministerio de Fomento. ISBN 84-498-0286-5.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1985): *Special Report 208: Highway Capacity Manual*. TRB, National Research Council, Washington, D.C., EE.UU.