

Un sistema de evaluación del nivel de servicio de las carreteras de dos carriles basado en las necesidades del usuario

MANUEL ROMANA GARCÍA,
DR. INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS.



Cola en la M-600 durante la toma de datos.

1. ¿Por qué queremos conocer el nivel de servicio?

Hay dos razones principales por las que es interesante determinar el nivel de servicio (NS) de una carretera: conocer el nivel de satisfacción de los usuarios (*evaluación*) y predecir futuras variaciones si se realizan hipótesis sobre crecimiento de tráfico y cambios introducidos en la infraestructura (*predicción*). Si el resultado de la evaluación es un NS insuficiente, esta evalua-

ción puede desembocar en una necesidad de inversión para mejorar la carretera. Si el resultado de la predicción es un NS insuficiente, el proceso de planificación debe incluir una programación de gastos y actuaciones para mejorar la infraestructura.

Dada la importancia de estos procesos, resulta crítico poder medir la satisfacción de los usuarios de forma precisa, y, de ser posible, sencilla y barata. En el caso de carreteras convencionales de dos carriles (en adelante, carreteras, por sencillez de re-

dacción) existen dos problemas recurrentes:

1) la duda sobre la idoneidad de los parámetros y la exactitud de la medida;

2) la comparación de carreteras de distintas características.

La metodología actual para abordar el problema es la establecida en el capítulo 8 del Manual de Capacidad, en su versión de 1985 [18]. Aparentemente, sigue la misma estrategia que otros capítulos:

1) se elige un parámetro básico,

Podría decirse que el nivel microscópico es el que percibe el usuario individual, mientras que el macroscópico es el que percibe el administrador de la vía

II) se establecen umbrales de este parámetro para cada NS,

III) se elige uno o más parámetros secundarios más fáciles de medir, y

IV) se establecen sus umbrales.

Sin embargo, examinado en profundidad, el procedimiento presenta algunas deficiencias. Ahora el parámetro básico es el porcentaje de tiempo con demora (%TD), que se define como "el porcentaje medio del tiempo que los vehículos están demorados, mientras viajan en colas debido a la imposibilidad de adelantar". Medir este tiempo es casi imposible, salvo si se emplean programas de simulación. En estas condiciones, la primera observación evidente es que es imposible verificar los resultados de la simulación por contraste con la realidad. Pero, además, la dificultad de su medida hace que el Manual ofrezca una alternativa, el porcentaje de vehículos demorados (%VD), definido como "porcentaje de vehículos que circulan por una sección con intervalos menores de 5 segundos". El valor de 5 segundos está en discusión, así que en el artículo se empleará un término general: t_c , o intervalo crítico.

Así, el verdadero parámetro básico es el %VD. El parámetro secundario es la relación intensidad/capacidad (i/c), y sus umbrales son función del reparto por sentidos y longitud en la que se permite adelantar.

La relación entre %VD y %TD es, como mínimo, dudosa, ya que:

- %VD se mide en un p.k. de la carretera (o, a lo sumo, va-

rios), y se refiere al total de vehículos registrados; y

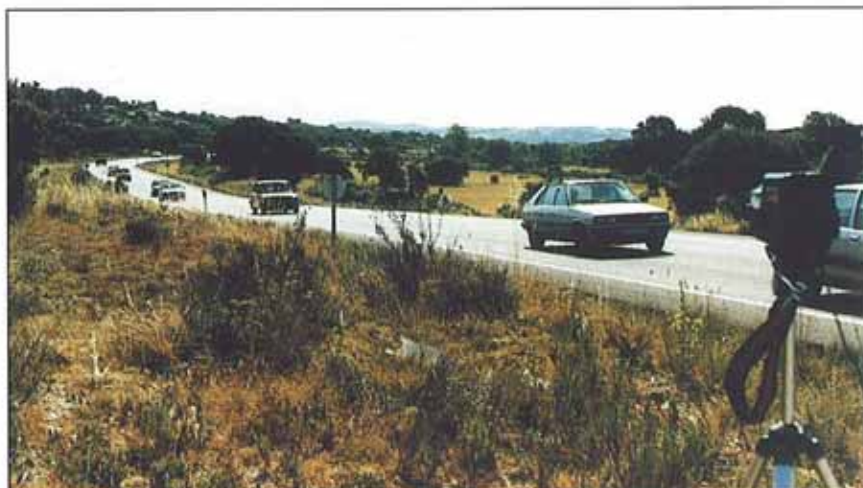
- %TD debe ser medido a lo largo de un tramo de carretera, y se refiere al total de tiempo de viaje de todos los vehículos.

Más aún, la predicción no se basa en %TD, ya que se sabe poco acerca de la relación de %TD con otras variables, como reparto, intensidad, densidad o velocidad.

El segundo problema surge cuando se intenta comparar carreteras con distintas características. Con la metodología actual, una carretera que discurra por terreno montañoso no puede alcanzar un nivel A, salvo en raras

una medida cualitativa que describe las condiciones de funcionamiento de la circulación viaria, **y su percepción por los conductores y/o pasajeros**" (capítulo 1, apartado II. El resaltado es mío). La razón es que, dada la definición, debe primar la medida de las condiciones de este nivel de servicio que perciba el usuario en general, y no el administrador. Serán preferibles, entonces, estimadores microscópicos a los macroscópicos, por estar aquéllos más próximos que éstos a la percepción del usuario.

El Manual continúa comentando que "la definición de un nivel de servicio describe generalmente estas condiciones en relación



Cola dispersa en la M-607. ¿Hasta qué punto se pueden considerar demorados todos los vehículos?

excepciones. Sería necesaria una inversión muy importante para que el trazado permitiera una proporción apreciable de zonas de adelantamiento y velocidades comparables a las del llano.

Se aprecia que nuestros fines son importantes, pero nuestra aproximación es peor que la deseada.

2. Variables que intervienen en la evaluación del nivel de servicio

2.1. Introducción. Variables macroscópicas y microscópicas

Según el Manual de Capacidad de 1985, "el nivel de servicio es

con variables tales como velocidad y tiempo de recorrido, libertad de maniobra, interrupciones de la circulación, comodidad y seguridad vial". Para cada tipo de infraestructura se definen los estimadores principales del nivel de servicio. En el caso de carreteras convencionales de dos carriles, estos estimadores primarios son, según el capítulo 1, el porcentaje de la demora en tiempo y la velocidad media de recorrido. En el capítulo específico, sin embargo, sólo se utiliza la velocidad para rampas especiales, y no en el análisis de tramos generales de carretera. En este caso, las velocidades se recogen únicamente a título informativo.

El porcentaje de tiempo con demora se define como **la pro-**

porción del tiempo invertido en el viaje en que un vehículo está influido por el precedente. En estas condiciones, la velocidad desarrollada será menor que la deseada por el conductor. Nótese que la proporción se calcula sobre el tiempo real de viaje, y no con el "tiempo ideal" del mismo viaje realizado sin congestión. Con esta definición, el porcentaje de tiempo con demora no puede ser superior a 100.

En ingeniería de tráfico se denominan estudios, estimadores u observaciones microscópicos a los que se ocupan de los vehículos individuales, y macroscópicos a los que tratan la circulación como una corriente. May [8] describe bien la diferencia cuando examina cada variable teórica, y su traducción en términos macroscópicos y microscópicos. Así, la circulación se estudia microscópicamente mediante el intervalo de tiempo entre vehículos (en adelante, intervalo), y macroscópicamente mediante la intensidad de circulación. Una cosa es qué lapso de tiempo transcurre entre vehículos y otra, cuántos circulan en un tiempo dado. Podría decirse que el nivel microscópico es el que percibe el usuario individual, mientras que el macroscópico es el que percibe el administrador de la vía.

Así clasificados, el porcentaje de tiempo con demora es un estimador microscópico, ya que se ocupa del modo en que el conductor percibe la circulación. El Manual utiliza también dos estimadores macroscópicos, que son la velocidad media de recorrido y la capacidad utilizada (relación intensidad/capacidad).

En el presente capítulo se especifican las variables que intervienen en estos estimadores. Estas variables serán objeto de análisis detallado en los capítulos siguientes, con el estudio de los resultados obtenidos en los experimentos realizados.

2.2. Estimadores del nivel de servicio

Los tres estimadores mencionados en el apartado anterior



Los adelantamientos son el recurso del que dispone un conductor para mejorar su nivel de servicio percibido.

[porcentaje de tiempo con demora, velocidad media de recorrido y capacidad utilizada (i/c)] están jerarquizados, de forma que deben utilizarse preferentemente los estimadores primarios, que en el caso de carreteras de dos carriles son los dos primeros, y sólo, cuando no estén disponibles, debe utilizarse el secundario.

Dado que la definición de nivel de servicio interesa primordialmente al usuario, los estimadores más importantes deben corresponder a las variables más prioritarias para los conductores. Es claro que estas variables son la comodidad de conducción y la velocidad media.

Existen otras variables, como la densidad, la intensidad o el número de adelantamientos. Pero, como se ha dicho, las variables que principalmente interesan al conductor son dos:

- velocidad de recorrido y
- comodidad (de la que la demora es una medida parcial).

El equilibrio entre estas variables depende del tipo de viaje.

Hasta el programa de construcción de autovías, los trayectos por carretera se realizaban en general en España, sobre todo, por carreteras de dos carriles. Excepciones a esta regla eran los territorios de Asturias, Cataluña y País Vasco que contaban con autopistas en las vías más importantes. Es preciso señalar que la velocidad no interesa directamente más que a una pequeña minoría de los conductores. El parámetro importante es más bien el tiempo de recorrido. En un viaje largo (400 km, por ejemplo), el hecho de que la velocidad media pase de 100 a 80 km/h implica que el viaje dure un 20 % más, lo que equivale a una hora más, pasando de 4 a 5 horas. Es este ahorro de tiempo lo que hace que el incrementar la velocidad sea muy interesante para el conductor desde el principio. Con el desarrollo de la red de autovías, el tiempo recorrido por carreteras de dos carriles disminuye, y para el conductor pasa a ser menos crítica la velocidad en es-



Los vehículos que circulan muy cerca del precedente tienen una clara intención de adelantar.

tas carreteras de dos carriles, porque el ahorro de tiempo de recorrido es pequeño, y pesará más la seguridad. Cobra, así, más importancia la comodidad del conductor que la velocidad.

En los apartados siguientes se definen e identifican las variables que intervienen en la determinación del nivel de servicio.

2.2.1. Velocidad de recorrido

La velocidad es el principal estimador del nivel de servicio, históricamente hablando. La sencillez de su medición la hizo preferible a la complicación de estimar la comodidad del conductor. Además, se considera habitualmente que, si la velocidad media de recorrido es alta, también debe serlo la calidad del servicio. Esta estimación es corriente no sólo en especialistas a cargo de una red, sino en la propia sociedad. Muchas veces se cuenta un viaje bueno por el corto intervalo de tiempo que hizo falta para realizarlo, sin otros descriptores.

En la actualidad, se ha encontrado en muchos estudios que la relación intensidad-velocidad es relativamente plana. Eso ha hecho que la velocidad pase a un segundo lugar en la evaluación del nivel de servicio. La corriente general es dar un poco por supuesto que las velocidades son altas de cualquier forma —o, al menos, pueden serlo—, y se busquen otros estimadores más sensibles a

la circulación. En cualquier caso, cualquier estudio de niveles de servicio debe incluir un análisis de las velocidades de los vehículos que circulan por la carretera.

2.2.2. Intervalos y porcentaje de tiempo con demora

El único de los tres estimadores que indica la comodidad del conductor es el porcentaje de tiempo con demora. La definición de este estimador es "la media de los porcentajes de tiempo en que cada vehículo está demorado como consecuencia de la imposibilidad de adelantar a los vehículos que le preceden". El propio Manual admite que este parámetro, aun cuando sea teóricamente muy adecuado, quizá el mejor, "es difícil de medir en la carretera". En estos momentos es difícil, excepto para un vehículo que cuente con un observador experimentado, que no sea el conductor y pueda cronometrar este tiempo. Pero eso exigiría un observador en cada vehículo de los que vamos a obtener la media, lo que es im-

posible sin alterar seriamente el comportamiento de los conductores. El Manual admite como medida indirecta o sustitutoria el porcentaje de vehículos que pasa por una sección con un intervalo inferior a 5 segundos. Esta definición está tomada del informe de Messer en el que se basó en gran medida el capítulo 8 del Manual [9]. La validez de la medida sustitutoria es dudosa desde el punto de vista científico, toda vez que en el citado informe se propone que un vehículo está demorado en un tramo cuando pasa por una sección con un intervalo menor de 5 segundos.

Otros autores han propuesto otros valores del intervalo como "intervalo crítico", como puede verse con detalle en el apartado 6.4 de la tesis de Romana [15].

Para la discusión de la determinación del porcentaje de tiempo con demora, o de la demora en general, es fundamental conocer las funciones de densidad y distribución de los intervalos entre vehículos.

2.2.3. Columnas o colas

Los conductores que circulan por una carretera tienen, en general, distintos deseos de velocidad de recorrido. Este hecho, combinado con la imposibilidad de adelantar, hace que los vehículos se agrupen en columnas. En este tema se toman las siguientes definiciones básicas de Valdés et al. [19]:

A medida que no pueden adelantar, el grado de frustración aumenta y la calidad de servicio es menor

"Las siguientes definiciones suponen una vía ideal por un solo carril y destinada a la circulación en un solo sentido. "Corriente de tráfico" significa la existencia de varios vehículos en movimiento en una vía.

En una corriente de tráfico pueden distinguirse diferentes situaciones:

- a) Si existen pocos vehículos en la vía y cada conductor puede escoger de una forma totalmente libre su velocidad, es decir, que pueden efectuarse adelantamientos a voluntad, se trata de un tráfico o de una circulación "libre". Dicho de otra forma, existe circulación libre cuando todas las posibilidades que le brindan la vía y el vehículo están a disposición del conductor.
- b) Si el conductor está influido en su conducción por el

movimiento de otro vehículo, disponiendo sin embargo de cierta libertad en su movimiento, se dice que la circulación es "parcialmente libre".

- c) Si no existe ninguna posibilidad de adelantamiento, se dice que la circulación es "forzada", presentándose la típica situación de "circulación en fila".

Una "fila de vehículos" son dos o más vehículos que se encuentran circulando uno detrás de otro por un mismo carril. Una "columna de vehículos" es una serie de vehículos seguidos de una misma fila de los que cada vehículo, a excepción del primero, circula a una velocidad dependiente de la del primero."

Estas definiciones suponen la consideración de la velocidad como parámetro para definir la conducción. Pero existen otras cir-

cunstancias que determinan el nivel de servicio. Con independencia de que la velocidad sea la deseada, el tener en cuenta otros vehículos y sus posibles trayectorias requiere atención del conductor, induciendo por tanto una tensión en el mismo.

En algunos casos, pocos, se ha intentado relacionar el nivel de servicio con la forma de la estructura de colas existente para distintos niveles de intensidad de circulación. Para ello, se suelen tomar en cuenta valores de esta estructura como la media, la columna máxima, o un cierto percentil. El propio Manual de Capacidad esboza esta característica en su definición de algunos de los niveles de servicio.

Este enfoque también tiene como punto de partida el intervalo crítico, dado que se evalúan las columnas existentes como aquellas colas de vehículos en las que no existe más que un intervalo superior a este intervalo crítico, el del primer vehículo de la columna.

2.2.4. Adelantamientos

En ocasiones se ha intentado relacionar el número de adelantamientos deseados y factibles en un tramo de carretera con los realizados, obteniendo así una medida del nivel de servicio desde el punto de vista de los conductores. Si adelantan todos los conductores que quieren y pueden, el nivel es muy alto. A medida que no pueden adelantar, el grado de frustración aumenta y la calidad de servicio es menor.

Este enfoque, cuyos principales abanderados son los canadienses Morrall y Werner [10], es muy interesante, dado que en todo análisis hay que introducir de alguna manera las longitudes de carretera



En la foto se aprecia una cola larga de vehículos.



La circulación en sentido contrario hace que el nivel de servicio disminuya, ya que dificulta los adelantamientos.

en que se permite adelantar. Es curioso observar que en el Manual de 1985 [18] la variación de este parámetro no se relaciona directamente con el nivel de servicio, dado que no se ofrece ninguna relación entre la posibilidad de adelantar y el porcentaje de tiempo con demora. ¿Qué ocurre con el porcentaje de tiempo con demora si se llega a mejorar de tal modo la vía que el porcentaje de longitud en que es posible adelantar sea el 80 % mediante la adición de carriles auxiliares? A esta pregunta el Manual sólo responde mediante su estimador secundario, la capacidad utilizada (i/c).

El principal inconveniente de este estimador es que su medida obliga a la identificación de los vehículos en dos secciones del tramo, para determinar si se han producido adelantamientos. Esto es caro, y no existen más que dos métodos de realizarlo sin posibilidad de error: el empleo de observadores o la metodología desarrollada para la elaboración de la tesis de Romana [15]. Los demás métodos tienen períodos en los que se pierde la cadena de vehículos, con lo que la observación es incompleta. Es interesante hacer notar que una interrupción de las observaciones de un minuto en una de las secciones puede lle-

gar a adulterar los resultados de un tiempo en alrededor del doble del tiempo medio de recorrido del tramo, dado que se desconoce si han salido o entrado de la sección vehículos rápidos o lentos.

Así pues, y dadas estas dificultades, para que un método de evaluación del nivel de servicio sea sencillo, deben desarrollarse procedimientos de estimación de las oportunidades de adelantamiento, o de los adelantamientos efectuados, basados en investigaciones realizadas, pero que no exijan su medición en cada caso. Ya se ha expuesto que el presente trabajo pretende establecer un método de evaluación del nivel de servicio a partir de observaciones realizadas en una sola sección del tramo. Existen algunas metodologías que estiman las oportunidades de adelantamiento existentes en un tramo. Cabe citar la de Corupe [5], entre otras.

2.2.5. Densidad

La densidad es una variable difícil de medir. Hasta hace poco, sólo era posible medirla mediante la utilización de fotografía aérea. Así lo confirman todas las referencias realizadas a esta variable. Además, para que se considere un estimador válido es necesario contar con un valor medio, dado que una medida única no sería representativa de un período de 15

minutos, ni siquiera de un minuto.

La principal ventaja de la densidad es que relaciona las variables de intensidad y velocidad, como lo demuestra la ecuación fundamental del tráfico. Por ello, los autores que la manejan no realizan medidas directas, sino que la obtienen dividiendo la intensidad entre la velocidad media. En la mencionada tesis [15] se realiza un estudio entre la densidad medida en cada sección, la densidad en el tramo y la densidad obtenida mediante la ecuación fundamental.

3. Historia de la evaluación del NS y los parámetros elegidos

A lo largo de los años se han propuesto diferentes metodologías para la evaluación del NS. En este apartado se ofrece un breve resumen histórico, que será seguido por una discusión más detallada de cada parámetro y sus implicaciones en epígrafes posteriores.

3.1. El Manual de Capacidad de 1965

El Manual de 1965 [17] propuso un sistema basado en la velocidad. En teoría, la velocidad tenía una relación biunívoca con la intensidad y la satisfacción de los usuarios. Se establecieron los umbrales de cada nivel de servicio y se adoptó la metodología. Esta velocidad está definida como "la velocidad más alta a la que un conductor puede viajar por una carretera con buen tiempo y en las condiciones de circulación existentes, sin exceder en ningún momento la velocidad segura, influida por la velocidad de proyecto en cada tramo".

Se comprobó pronto —y se ha constatado abundantemente— que la curva velocidad - intensidad es bastante plana, de forma que es difícil relacionar los cambios de velocidades con cambios en el nivel de servicio. Como ejemplos se incluyen la figura 1, en la que se recogen las relaciones incluidas en el Manual de 1985 [18] y la te-

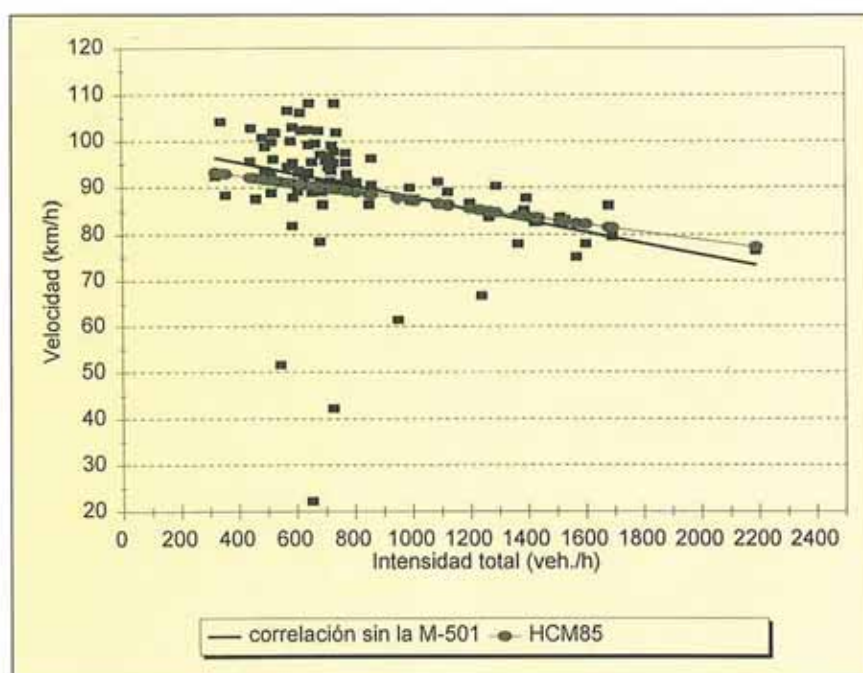


Figura 1. Relaciones Velocidad - Intensidad del Manual de 1985 y medidas por Romana.

sis de Romana [15], [16]. Este problema se agudiza al comparar carreteras de distintas características, o incluso distintas poblaciones de conductores.

3.2. El Manual de Capacidad de 1985

Con el tiempo se asumió que los conductores valoraban la comodidad además de la velocidad. Por ello, el Manual de 1985 [18] cita velocidades medias de recorrido para cada nivel de servicio "únicamente a título informativo". La comodidad máxima se consigue cuando el trazado es razonablemente bueno y la influencia de otros vehículos es despreciable. Esto ocurre cuando los vehículos más lentos pueden ser adelantados de forma segura, así que es necesario disponer de posibilidades de adelantamiento. Así, en 1985 el Manual cambió a %TD, ya mencionado.

El Manual de 1985 plantea la evaluación del nivel de servicio a partir de dos medidas básicas:

- porcentaje de tiempo con demora, a través del porcentaje de vehículos con intervalo menor de 5 segundos, y
- relación i/c.

El nivel de servicio se determina principalmente estableciendo el valor de un parámetro

(en la práctica i/c) y hallando dónde se encuentra dentro del abanico de umbrales suministrado por el Manual.

El Manual ofrece también valores de la velocidad; pero insiste en que son indicativos, válidos sólo para trazados de altas velocidades de proyecto, y no son para medir los niveles de servicio. Esto es debido a la presión de la comunidad científica de abandonar la velocidad como estimador del nivel de servicio. En cualquier caso, son velocidades que los autores de la investigación (Messer et al.) consideran "representativas" de cada nivel.

3.3. Otros métodos

3.3.1. Basados en la velocidad media

La velocidad media es el primer estimador del nivel de servicio utilizado. En la *tabla 1* se

muestran los valores de los umbrales del nivel de servicio en función de la velocidad media, según varios autores.

Los resultados de Hoban vienen de estudios de simulación realizados con TRARR; los de Radelat [12], [13], de observaciones en Colombia; los del Manual 85, de una mezcla de observaciones y simulación; y los de Botha, de observaciones en carreteras de baja velocidad de proyecto (alrededor de 80 km/h).

En la aplicación de estos criterios se aprecia claramente la gran disparidad de los límites propuestos, que otra vez responden a criterios casi "políticos" de los autores. No cabe duda de que los usuarios comprenden rápidamente qué quiere decir que un nivel de servicio C tenga asociada una velocidad determinada, por lo que tales umbrales son en cierto modo un compromiso político de inversiones a corto y medio plazo.

3.3.2. Basados en %VD

Hoban [6] sugirió el empleo de la proporción de vehículos en cola. Consideró que un vehículo viaja en cola si su intervalo con el precedente es menor de 4 segundos, pero ofreció métodos alternativos de estudiar la estructura de colas. Estos métodos consistían en medir la proporción del tiempo de viaje en que el intervalo con el vehículo precedente era muy corto o bien la distribución de las colas de distintos tamaños. Este enfoque está también incluido en Underwood y Romana [14], ha sido citado ya para el caso del Manual 85, y también está presente en Botha. Los dos criterios de Botha responden a tomar como primario el %VD o la densidad. En el segundo caso, los porcentajes son

Tabla 1. Umbrales del nivel de servicio en función de la velocidad media según varios autores

N.S.	Hoban	Radelat	Manual 85	Botha
A	95	75	93	73
B	80	65	88	70
C	70	55	83	68
D	60	45	80	66
E	-	35	72	63

mucho más altos para cada umbral y hacen subir los niveles de servicio entre un grado y dos.

3.3.3. Basados en el tamaño medio de colas

Basado en este parámetro específico está sólo el criterio propuesto por Hoban, aunque es cierto que pueden extraerse criterios equivalentes, a través de la relación existente entre este factor y el %VD, de todos los autores con umbrales para %VD. Los umbrales se reseñan en la tabla 2.

suficientemente contrastada. El Manual de 1985 se basa en simulaciones de una carretera recta y llana con varios niveles de circulación. Botha se fía de la calibración de TRARR con datos que al autor le parecen algo insuficientes, y no intenta hacer ninguna comprobación del %TD.

Muchos otros autores —y también ingenieros proyectistas, evaluadores y otros— miden lo sustitutorio (%VD) y hablan del concepto primero (%TD). Esto crea en algunos casos una duali-

considerada en la metodología propuesta.

Los únicos autores que han considerado la **densidad** como definitoria del nivel de servicio son Botha et al., pero en su texto no queda claro si adoptan esta variable, como dicen, por conseguir homogeneidad entre los parámetros utilizados en carreteras de dos carriles y otras vías, como autopistas o carreteras multicarriles, o si, como también admiten, por la escasa fiabilidad que encontraron en el %VD por problemas en la toma de datos.

Es necesario señalar que las densidades que utilizaron tampoco fueron medidas directamente, sino deducidas de la ecuación fundamental, con lo que sería necesario analizar la precisión de la ecuación en estos casos.

En cualquier caso, la densidad es, como la intensidad, una medida agregada. La intensidad está agregada en el tiempo, mientras que la densidad está agregada en el espacio. Por ello, pueden enmascarar la condición de los conductores presentes en el tramo, por lo que su uso ha sido también descartado.

A continuación, se relatan las ventajas e inconvenientes del **porcentaje de vehículos demorados (%VD)**. La investigación realizada demuestra que, a lo largo de los tramos, el número de intervalos que crece es el de los vehículos en cola. Por ello, parece adecuado centrar el estudio del ni-

Tabla 2. Umbrales de nivel de servicio, con indicación de tamaños medios de cola (Hoban, 1984)

NS	Intensidad total máxima (veh./h)	Velocidad mínima (km/h)	%VD	%TD	cola media	
					de	a
A	400	95	30	35	1,4	1,5
B	900	80	65	70	2,9	3,3
C	1 400	70	75	80	4	5
D	1 700	60	80	85	5	6,7
E	2 000	60	-	-	-	-

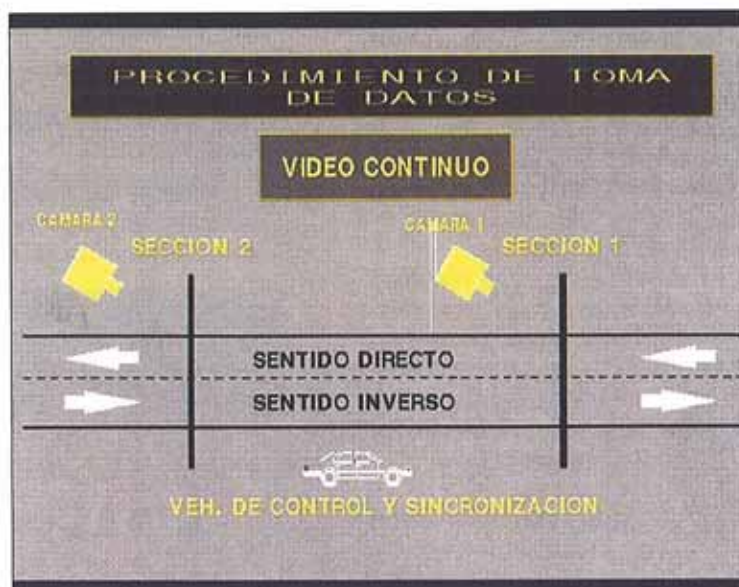
3.4. Ventajas e inconvenientes de los distintos parámetros

El **porcentaje de tiempo con demora** es un concepto muy bueno, pero la dificultad de medirlo hace de él una herramienta muy difícil de utilizar. El concepto de demora es claramente subjetivo; y, aunque se admita la objetivización de adoptar un valor determinado de t_c , sólo puede ser medido a través de programas de simulación. Los programas de simulación son excelentes herramientas para aumentar el número de casos en que es posible salir a medir a la carretera, pero es necesaria una calibración precisa. Es demasiado arriesgado medir niveles de servicio a través de una variable que no puede ser calibrada. Es teóricamente posible obtener un modelo que responda bien a la calibración de velocidades, a la de intervalos o a la de densidades, y no dé buenos resultados del %TD.

Hay que añadir que prácticamente todos los estudios realizados sobre los niveles de servicio se basan en simulación, quizá no

dad entre lo que se discute y lo medido. Por ello, en la metodología propuesta se abandona expresamente esta terminología en favor del %VD, que sí es medible y comprobable.

La **relación intensidad-capacidad (i/c)** es una variable macroscópica, que se aleja del usuario, por lo que no ha sido



Esquema 1.
Toma de datos.

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes del %VD

Ventajas	Inconvenientes
Se trata de una variable que puede medirse directamente.	Exige una definición única de t_c .
Refleja de alguna manera la situación del conductor.	Exige medir los intervalos entre vehículos para determinar el NS.
Tiene una influencia clara en la posibilidad de adelantamiento.	

vel de servicio en el análisis de los vehículos que circulan en un tramo con un intervalo menor que t_c .

Las ventajas e inconvenientes principales de la utilización de la proporción de los vehículos que viajan en colas en la determinación del nivel de servicio son las expresadas en la tabla 3.

Algunos autores, con Morrall y Werner [20] a la cabeza, han planteado modelos teóricos y de simulación para determinar el nivel de servicio, comparando la **oferta de adelantamiento** (características de la vía y de la circulación en sentido contrario) con la demanda (característica de la circulación en el sentido considerado).

Sin embargo, seguir esta metodología implica plantear tomas de datos y análisis laboriosos y/o muy complicados para medir los adelantamientos. Se considera que un método práctico de evaluación debe estar basado en variables de análisis rápido, por lo que no se ha adoptado esta variable.

Ya se ha avanzado que el **tamaño medio de cola** está directamente relacionado con el %VD. Esta relación es matemática, y además ha sido comprobada en el curso de la investigación [15]. Por ello, no se considera que aporte ningún dato más que el %VD.

4. Método propuesto

4.1. Introducción

De lo expuesto en los apartados anteriores se deduce que las variables que el conductor siente como mas próximas son la comodidad de la circulación y la ve-

El porcentaje de tiempo con demora es un concepto muy bueno, pero la dificultad de medirlo hace de él una herramienta muy difícil de utilizar



Esquema 2. Reducción de datos en gabinete.

locidad. Para niveles normales de velocidad, el usuario se siente afectado por los demás vehículos que circulan por la vía. Cuando éstos son tantos que la circulación en columna es lo normal, la velocidad juega el papel de árbitro. El nivel de servicio no es elevado en ningún caso, pero si la velocidad descende por debajo de un valor pivote, estimado para carreteras de buenas características en 80 km/h, la situación se hace muy incómoda.

En realidad, para el primer tramo (velocidades aceptables), los niveles de servicio son distintos dependiendo de los intervalos:

- A para vehículos aislados (circulación libre).
- B para vehículos con intervalo anterior grande y vehículos con intervalo anterior creciente (que han sido adelantados).
- B, C para vehículos en fila (no desean adelantar).

D para vehículos demorados.
E, F para vehículos demorados.

Se podría añadir a este criterio la posibilidad o "esperanza" de adelantar. No es lo mismo circular el segundo de una cola que el decimoquinto, viendo al camión en la lejanía. Entonces F sería el nivel de servicio para los conductores que son obligados a desarrollar velocidades lentas (50-60 km/h) y ocupan lugares altos en la colas (más allá de los cuartos o quintos). Lo que haría falta, entonces, es determinar qué porcentajes hay entre distintas poblaciones con cada nivel de servicio.

Este sistema es siempre más complejo que medir si los intervalos son mayores o menores que uno dado. Además, sería necesario contar con una muestra mayor, y una variedad mayor de carreteras. Por esto se ha preferido optar por medidas más simples, que sea posible realizar en la carretera con medios mínimos.

4.2. Método de evaluación del NS en carreteras en servicio

La metodología propuesta para evaluación de carreteras existentes consiste en la toma de datos de intervalos en un punto de la carretera, y una estimación de las velocidades de los vehículos en un tramo de 500 metros como mínimo. Las velocidades pueden medirse mediante cualquiera de las técnicas habituales (radar, observadores, contadores sincronizados, lazos electromagnéticos—más complejos de instalación—, etc.). Por su parte, los intervalos pueden medirse mediante la técnica utilizada en esa investigación, con aparatos más complejos o mediante observadores que simplemente evalúen si el intervalo está por encima o por debajo del crítico (4s).

El sistema de toma de datos dependerá de las características de la carretera y del tráfico esperado, ya que si la intensidad es alta, por ejemplo, el empleo de observadores será menos fiable que los registradores mecánicos.

Es necesario distinguir entre el período de tiempo considerado para el estudio del tráfico y el período de tiempo necesario para establecer el nivel de servicio en una carretera. En el curso de la investigación se apreció que la dispersión en el porcentaje de vehículos demorados (%VD) en 5 minutos es mayor para bajas intensidades: se hace necesario determinar distintos períodos de observación para intensidades menores de 900 veh./h que para tráfico mayores; o, en todo caso, establecer el tiempo mínimo en función de las intensidades bajas. En general, los períodos deben ser de 15 minutos, y parece representativo medir tres o cuatro pe-

ríodos a lo largo de dos horas, lo que da suficiente tiempo de descanso, si es necesario el empleo de observadores.

El cuadro guía de los niveles de servicio se incluye en la *tabla 4*. Se distinguen dos áreas bien diferenciadas: para velocidades superiores a 80 km/h, el nivel de servicio está gobernado por el porcentaje de vehículos demorados (con intervalo menor de 4 segundos).

La segunda parte del cuadro está gobernada por la velocidad media de circulación. Los umbrales son ahora los recogidos por la *tabla 5*.

Es necesario especificar que, aunque se da todo el rango de variables para ofrecer un cuadro completo, los valores se agruparán en forma de L, más o menos. Es muy difícil que se den tráfico para velocidades bajas con un elevado porcentaje de vehículos libres. Esto es sólo posible en vías en las que el trazado es claramente deficiente. Se considera que una velocidad de recorrido de 60 km/h es la mínima aceptable, sea

culos demorados muy elevado serán inestables, y tenderán a situaciones de congestión local en las secciones de menor capacidad. Esto resultará en un descenso de la velocidad media a valores, en general, menores de 80 km/h. El método conjunto se resume en la *figura 2*.

4.3. Método de evaluación del NS en carreteras en proyecto

Para la previsión del nivel de servicio en carreteras nuevas deben considerarse dos variables:

- Velocidad media esperada de los vehículos: este parámetro está relacionado con la velocidad de proyecto, pero en general no coincidirán. Debe estar por encima de 80 km/h. En caso contrario, la previsión de nivel de servicio máximo será D, o peor. Es necesario aclarar que la presente metodología no está pensada para caminos agrícolas, pistas forestales y otras vías especiales, sino para carreteras afirmadas destinadas principalmente al tráfico general de viajeros y mercan-

Tabla 5. umbrales adoptados entre niveles de servicio para velocidades inferiores a 80 km/h

Nivel de servicio	Velocidad mínima (km/h)	% Máximo de vehículos demorados	% Máximo de vehículos libres
A	-	-	-
B	-	-	-
C	-	-	-
D	60	100	0
E	40	100	0
F	>40	100	0

cual sea la causa, si la situación no es excepcional y transitoria. Del mismo modo, circulaciones con velocidades altas (más de 80 km/h) y un porcentaje de vehí-

cias. Otras vías tendrán grupos especiales de usuarios, tanto en lo que respecta a las características de los conductores como de los vehículos, y en éstas el nivel de servicio podrá venir dado por otros factores.

- Intensidades horarias. Para ello, se suministran dos curvas: en función de la intensidad total (*figura 3*) y en función de las intensidades por sentido (*figura 4*).

En su versión más simple, la *figura 3* muestra la curva que permite estimar un rango del %VD

Tabla 4. Umbrales adoptados entre niveles de servicio para velocidades superiores a 80 km/h

Nivel de servicio	Velocidad mínima (km/h)	% Máximo de vehículos demorados	% Máximo de vehículos libres
A	80	30	70
B	80	55	45
C	80	75	25
D	80	100	0
E	-	-	-

para la intensidad total prevista. Se advierte que, en el caso de encontrarse con una carretera con intensidad horaria alta (por encima de 1 000 veh./h) y reparto equilibrado (entre 50/50 y 60/40), es posible que el %VD(4s) sea algo mayor que el indicado por la curva, por lo que en estos casos se recomienda utilizar los valores máximos. Con el %VD estimado y la velocidad media esperada, algo mayor que la velocidad de proyecto, es posible entrar en la figura 3 para predecir el nivel de servicio.

La curva de intensidad-%VD (figura 4) está por encima de la curva propuesta por el Manual, especialmente en su tramo alto. Esto, unido a lo señalado sobre el reparto y las intensidades altas, permite concluir que la curva del Manual estima una cantidad de vehículos demorados inferior a la real (y, por tanto, del lado de la inseguridad). Esta subestimación es mayor aún, dado que t_c vale para el Manual 5 segundos, lo que resulta en una mayor proporción de demorados, al crecer el tamaño de las colas estimadas.

Si se dispone de intensidades por sentido puede emplearse el modelo siguiente, que relaciona el porcentaje de vehículos demorados (%VD) en carreteras convencionales de dos carriles con otras variables de la circulación. El modelo propuesto es:

$$\%VD = 0,0443 \cdot I_1 + 0,0096 \cdot I_2 + 25,5411$$

Este modelo se ha reflejado gráficamente en la figura 4. La precisión del modelo, expresada a través del coeficiente r^2 (variación explicada), es 0,7964. Este coeficiente es suficientemente alto para tener una precisión adecuada, especialmente si el valor del %VD es elevado. Se ha detectado una región de resultados inestables si I_1/I_{total} es menor de 0,20. En este caso, en algunos períodos el porcentaje de vehículos demorados es muy alto y en otros muy bajo. Se comprende que, si se circula dentro de una corriente de intensidad mucho menor que la contraria, la situación depende mucho de las circunstancias locales. Si se encuentra un vehículo más lento

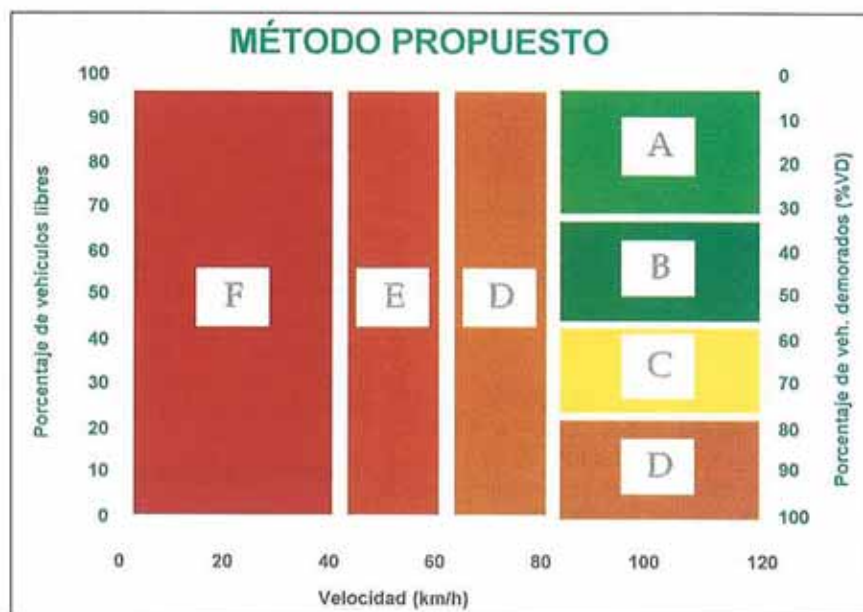


Figura 2. Determinación de los niveles de servicio en función de la velocidad y %VD (4).

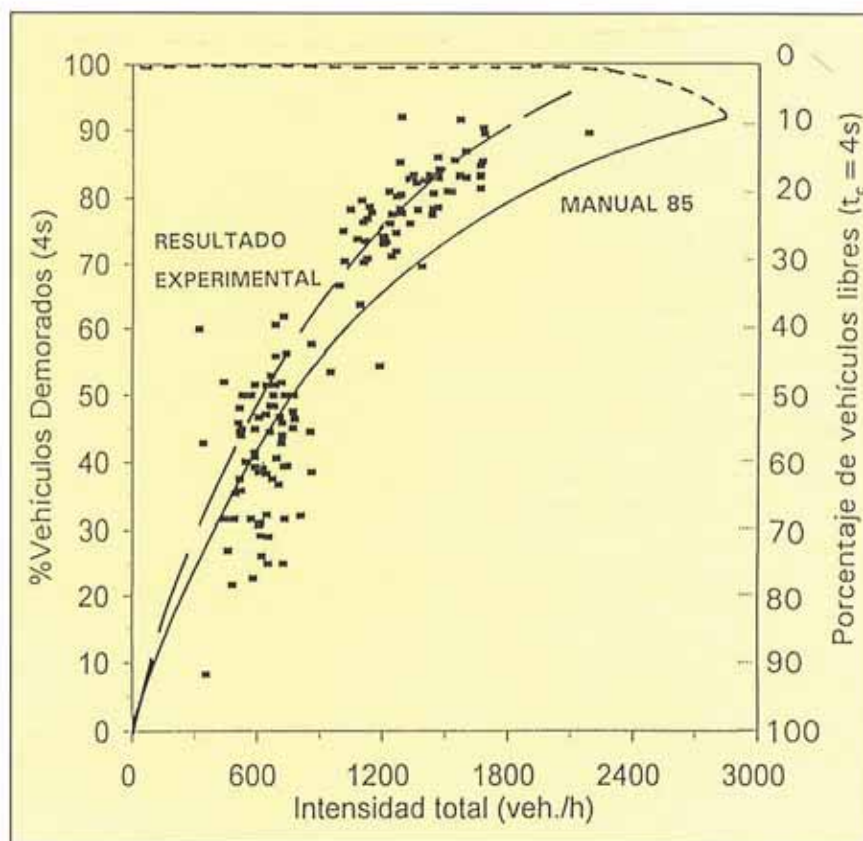


Figura 3. Relación Intensidad - %VD (4 segundos). Manual 1985 y Romana.

—siempre en términos relativos—, será muy difícil encontrar una ocasión de adelantarlo, lo que facilita la formación de colas con intensidades muy bajas. Si no se encuentra este vehículo lento, la circulación es buena.

El modelo tiene un mínimo de vehículos demorados del 25 %. Este valor se explica pensando que, con intensidades de circulación bajas, la proporción de vehículos demorados es alta en cuanto se produzcan colas de 2

La velocidad, per se, no es un buen descriptor del nivel de servicio en carreteras convencionales de dos carriles

vehículos. Es válido en carreteras con intensidades altas, y en terreno llano o poco ondulado. Para generalizar estos modelos es necesario profundizar en esta dirección con medidas en carreteras con circulaciones más dispares. En particular, para ampliar la validez de estos modelos sería necesario medir las mismas variables en carreteras:

- con intensidades bajas, y
- con porcentajes de vehículos pesados altos.

4.4. Resultado de la aplicación del método propuesto a las carreteras estudiadas

En la figura 5 puede apreciarse el resultado de aplicar la metodología propuesta a las carreteras estudiadas. Se resuelven algunas de las inconsistencias de aplicar las metodologías de un solo parámetro, y los tráficos se separan bien.

Las carreteras M-111 y M-600 tienen casi todos los periodos estudiados dentro del nivel de servicio B. Algunos periodos con mejores condiciones alcanzan el nivel A, mientras que otros, en los que se dan velocidades muy bajas, llegan a ser nivel D, E o incluso F en un caso. Obsérvese que el %VD no aumenta tanto dentro del periodo, sino que lo que empuja hacia abajo el nivel de servicio es más la caída de la velocidad. Estos casos fueron debidos a la interferencia causada por vehículos lentos (agrícolas) en la carretera. Se trata de vías con tráfico medio más bien desahogado, y la evaluación coincide con las observaciones en la carretera.

Por el contrario, las carreteras M-501 y M-607 tienen %VD similares, pero las velocidades son

distintas. Los mejores periodos de la M-607 llegan al nivel C, y los peores se reparten por igual entre periodos de velocidad aceptable (entre 70 y 80 km/h) y velocidad buena (mayor que 80 km/h). Por el contrario, la M-501 tiene una caracterización peor, ya que en general se trata de valores altos del %VD (mayores de 70), pero velocidades menores de 70 km/h. En un caso el %VD llega a ser sólo el 55%, pero, incluso entonces, la velocidad es de 70 km/h.

5. Conclusiones

- La velocidad, *per se*, no es un buen descriptor del nivel de servicio en carreteras convencionales de dos carriles. Las curvas i/v son demasiado planas y una diferencia pe-

- El método propuesto para la evaluación de carreteras en servicio se basa en una diversificación de la evaluación del nivel de servicio: para velocidades mayores de 80 km/h, el nivel de servicio viene dado por el %VD(4s); para velocidades inferiores, la velocidad es el único parámetro. **El nivel de servicio se evalúa de forma independiente para cada sentido.**
- El método para carreteras en proyecto es similar. Se suministran para ello dos herramientas, para que el proyectista elija una de ellas en función de los datos de que disponga:
 - una curva que permite estimar el %VD en función de

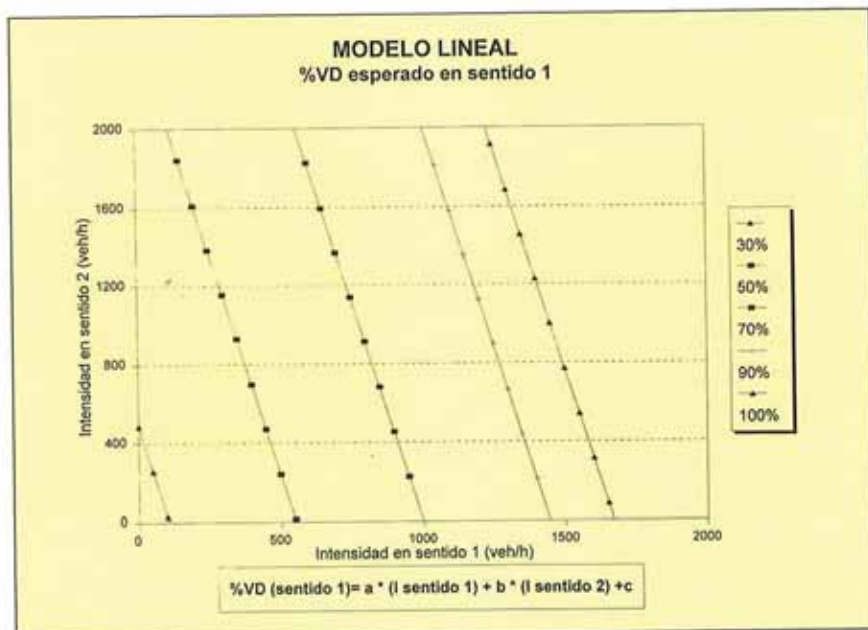


Figura 4. Modelo de Estimación de %VD a partir de I_1 e I_2 .

queña de velocidades puede significar poco en lo que respecta a diferencias de nivel de servicio.

- De los posibles parámetros de evaluación del nivel de servicio, los más cercanos al usuario son el %VD y la velocidad. La adopción conjunta de los dos parámetros permite una evaluación más completa del nivel de servicio. Además, es posible medir estos parámetros con relativa sencillez.

la intensidad total en condiciones españolas. Esta curva está por encima de la suministrada por el Manual de 1985, por lo que proporciona niveles de servicio peores para intensidades altas, y

- un modelo que permite estimar el %VD en función de las intensidades en cada sentido.
- La aplicación de la metodología propuesta a las carreteras estudiadas da lugar

a una más clara y representativa evaluación del nivel de servicio, separando ambos sentidos de circulación.

- En general, los periodos de evaluación del nivel de servicio deben ser del orden de 15 minutos, y parece representativo medir tres o cuatro periodos a lo largo de dos horas, lo que proporciona suficiente tiempo de descanso, en el caso de que sea necesario el empleo de observadores.

6. Bibliografía

[1] BUEN RICHKARDAY, O. (1986). "Nuevos criterios para el cálculo de capacidad y niveles de servicio en carreteras de 2 carriles". XXII Seminario de Ingeniería de Tránsito.

[2] BOTHA, J.L., SULLIVAN, E.C. AND ZENG, X. (1992) "Level of Service of Two-Lane Rural Highways with Design Speeds less than 60 mph. Final Report". Dept. of Civil Engineering and Applied Mechanics, San José State University, San José, California.

[3] BOTMA, H. y FI, I. (1991). "Traffic Operation on 2-Lane roads in Hungary and The Netherlands", en "Highway Capacity and Level of Service". U. Brannolte, editor. A.A. Balkema, Rotterdam.

[4] BOX, P. C. y OPPENLANDER, J. C. (1976). "Manual for Traffic Engineering Studies" Cuarta Edición, Institute of Transportation Engineers, Arlington, Virginia, EE.UU.

[5] CORUPE, E.G., GEISSLER, E.H., HUNTER, G.K. et al. (1975). "Design Procedure for Passing Lanes". Systems Design, Northwestern Region, Thunder Bay, Canada.

[6] HOBAN, C. (1984). "Measuring quality of service on two-lane rural roads". Proc. 12th ARRB conf 10(4) pp 59-70, Australian Road Research Board, Victoria, Australia.

[7] HOBAN, C., y MORALL, J.F. (1986). "Overtaking Lane Practice in Canada and Australia". Research Report ARR144, Australian Road Research Board, Victoria, Australia.

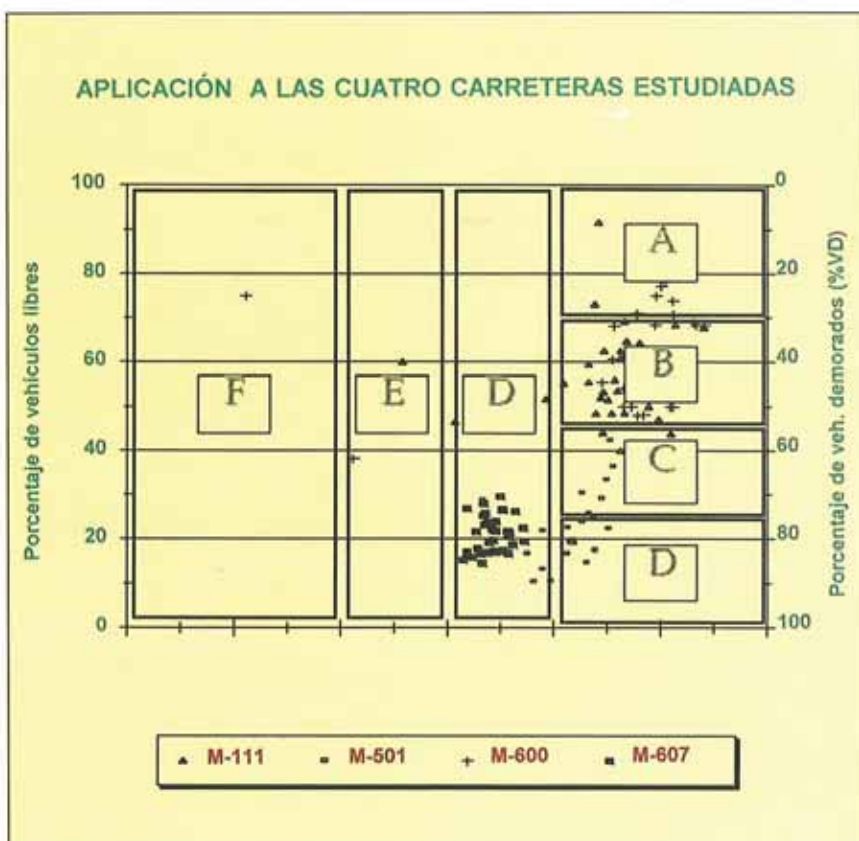


Figura 5. Aplicación de la metodología propuesta a las carreteras estudiadas.

lia". Research Report ARR144, Australian Road Research Board, Victoria, Australia.

[8] MAY Jr., A.D. (1990): "Traffic flow fundamentals". Prentice Hall, New Jersey.

[9] MESSER, C.J. (1983). "Two-Lane, Two-Way Rural Highway Capacity. Final Report", National Cooperative Highway Research Board. Transportation Research Board. Washington, D.C.

[10] MORRALL, J.F. y WERNER, A. (1982). "Measurements of level of service for two-lane rural highways" Canadian Journal of Civil Engineering, Volumen 9, número 3, pp. 385-398. Consejo Nacional de Investigaciones de Canadá.

[11] MORRALL, J.F. y WERNER, A. (1990). "Measuring two-lane highway level of service by overtakings". Transportation Research Record 1287, TRB, Washington, D.C.

[12] RADELAT, G. (1992). "Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras rurales de dos carriles". Ministerio

de Obras Públicas y Transporte de Colombia y Universidad del Cauca. Santa Fe de Bogotá.

[13] RADELAT, G. (1992). "Issues that could be addressed in a critique of Chapter 8 of the 1985 Highway Capacity Manual".

[14] ROMANA, M. G., y MAY, A.D. (1989) "Development of comprehensive passing lane guidelines. Phase 1, Field studies and data analysis. Working Paper". UCB-ITS-WP-89-3, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, California.

[15] ROMANA GARCÍA, M. (1995) "Evaluación del nivel de servicio en carreteras convencionales de dos carriles en España". Tesis doctoral. Departamento de Transportes, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.

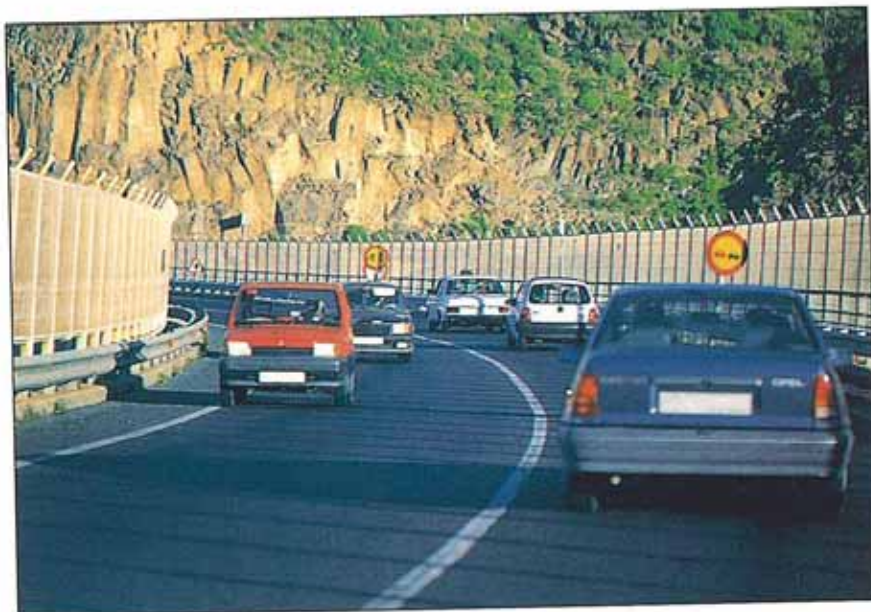
[16] ROMANA GARCÍA, M. (1996) "Estimación del porcentaje de vehículos demorados en función de variables de la cir-

culación en carreteras convencionales de doble sentido". Revista de Obras Públicas, N° 3.359. Noviembre de 1996, Madrid.

[17] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1965): "Special Report 87. Highway Capacity Manual". TRB, National Research Council, Washington, D.C.

[18] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1994): "Special Report 209: Highway Capacity Manual". TRB, National Research Council, Washington, D.C. (Existe traducción en español: "Manual de Capacidad de Carreteras". Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, 1996. Traducción de Gardeta Oliveros, J.G.).

[19] VALDÉS, A. et al. (1982). "Ingeniería de Tráfico". Tercera edición corregida y aumentada. Dossat, Madrid.



[20] WERNER, A. y WILLIS, T. (1979). "Cost-Effective Level of Service and Design Criteria", Transportation Research Record 699, TRB, Washington, D.C. ■

Manuel Romana García. Profesor Titular del Departamento de Transportes. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

BARRERA DE SEGURIDAD MIXTA METAL Y MADERA

norma europea

TRAFIC 97
EXPOSITOR
MADRID 21 - 24 OCTUBRE
STAND 5 F016



LES BOIS DE TERTU

61160 VILLEDIEU-LES-BAILLEUL

FRANCIA

TEL 33 2 33361102 - FAX 33 2 33392875

E-mail : bois.tertu@wanadoo.fr

CONTACTO : PHILIPPE GIACOMETTI