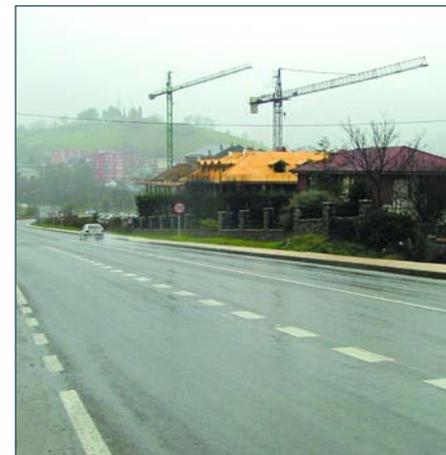


Análisis del tiempo de recorrido de vehículos en carreteras interurbanas



Carreteras interurbanas en Cantabria.

Ángel Vega Zamanillo, Miguel Ángel Calzada Pérez y Elena Melón García, Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos. Universidad de Cantabria.

Resumen

En este artículo se presenta una modelización del tiempo de recorrido de los vehículos mediante una función potencial (función BPR -Bureau of Public Roads-) que relaciona su velocidad con la proporción volumen/capacidad de vehículos que circulan por una red de carreteras interurbanas. Esta función es utilizada en la fase de asignación de

vehículos a la red de una zona, dentro de los estudios de demanda de transporte, y en el análisis del nivel de servicio de carreteras; pero, en este caso, la función se ha calibrado para diferentes tipos de vía y carriles de la red; es decir, se han obtenido funciones diferentes para carreteras de dos carriles y calzadas separadas, diferenciando carriles exteriores e interiores, permitiendo profundizar en el estudio del tráfico de cada tramo de carretera interurbana. Con estos modelos, es posible detectar los tramos y carriles donde puedan aparecer congestiones en un instante determinado.

Tras la calibración de los modelos, se ha realizado un análisis compara-

tivo de los mismos; y posteriormente se proponen unas mejoras en las carreteras interurbanas.

Palabras clave: carreteras, tráfico interurbano, velocidad de recorrido, tiempo de recorrido, función BPR

Introducción

En la actualidad, los estudios de tráfico tienen relevancia debido a que cada vez resulta más importante la inversión de capital en la construcción de vías de circulación y en la conservación de las infraestructuras existentes. Además, la intensidad de tráfico de las carreteras es variable, ya que viene condicionada por una

demanda que está en continuo crecimiento y por las características de la capacidad de las vías.

Para conocer las características del tráfico es necesario realizar medidas y estudios en las carreteras existentes. Los datos obtenidos en el presente estudio se utilizan como base para el planeamiento y explotación de las redes viarias interurbanas, y para la investigación de los efectos de los diferentes elementos y variables de la carretera en la circulación de vehículos.

La velocidad de los vehículos en una red interurbana está influenciada por dos factores principales: las características de la red viaria y la interacción de los vehículos. Estos factores afectan a la calidad del servicio. En los elementos críticos que condicionan los niveles de servicio, cabe destacar que el mayor condicionante de una circulación continua, en caso de intensidades de vehículos bajas, es su geometría y capacidad, dando lugar a velocidades de recorrido altas; pero para intensidades altas la velocidad de recorrido tiende a ser baja, debido a que el movimiento de los vehículos puede depender del estado de la circulación del resto de vehículos.

La red de carreteras interurbanas presenta vías de circulación (incluso carriles) muy variadas. No se pueden definir unas características homogéneas que las agrupen a todas. En el artículo se presenta un estudio detallado de la circulación en la red de carreteras interurbanas de Cantabria. Para ello, se dispone de una serie de funciones y correlaciones, que se han ido elaborando a lo largo de un tiempo, estableciendo un criterio particular para el análisis de cada situación. Así se ha profundizado en un estudio de las variables fundamentales de la ingeniería de tráfico (velocidad y volumen de vehículos), con el fin de conocer mejor el nivel de servicio de las carreteras interurbanas. Se han obtenido varias funciones, según el tipo de vía y de carril de la carretera, pues el comportamiento de los conductores en una carretera con cal-

zadas separadas es muy diferente al mostrado en una carretera de dos carriles y de menor capacidad; incluso la velocidad, el volumen y la composición del tráfico observado en el carril derecho de una misma autopista o autovía son diferentes de los obtenidos con los vehículos que circulan por el carril interior. Con estos modelos, es posible detectar los tramos donde puedan aparecer congestiones por carril, donde el volumen se acerca a la capacidad.

En una etapa inicial se han particularizado los diferentes tipos de vías interurbanas. En su clasificación, se ha tenido en cuenta el número de carriles de las vías y el sentido de circulación de los vehículos, resultando los siguientes casos:

■ **Caso 1: Carreteras 1+1.** Carreteras de dos carriles y de dos sentidos de circulación.

■ **Caso 2: Carreteras 1+2.** Carreteras de tres carriles y dos sentidos de circulación en una misma calzada, con dos carriles para uno de los sentidos. Se analiza el carril exterior, justificado para vehículos lentos.

■ **Caso 3: Carreteras 2+2.** Carreteras de calzadas separadas con dos carriles de circulación. Se analiza por separado cada uno de los carriles, interior y exterior.

Se modeliza el tiempo y la velocidad de recorrido de los vehículos que circulan por una red de carreteras interurbanas mediante una función BPR (*Bureau of Public Roads*, antiguo nombre de la actual Administración Federal de Carreteras en Estados Unidos). La función (*ecuación 1*) es potencial, monótona y creciente; y es muy utilizada en los modelos de demanda en transporte, donde la asignación de un volumen de vehículos a los diferentes tramos de la red se realiza en función del tiempo medio de recorrido de los vehículos por los diferentes tramos viarios. También las curvas velocidad de recorrido-intensidad son muy utilizadas para determinar el nivel de servicio en carreteras. En este estudio se han calibrado los parámetros α y β de estas curvas para cada tipo de vía y carril de la

red. Además, se han considerado otras variables geométricas con el fin de obtener la capacidad de los diferentes tramos viarios de la red. Es necesario recordar que el actual Manual de Capacidad Americano (HCM, 2000) analiza el nivel de servicio en carreteras de calzadas separadas según su velocidad media de recorrido y la intensidad de vehículos equivalentes; y, en el caso de las carreteras de dos carriles, el nivel de servicio se estudia según la velocidad media de recorrido y el porcentaje de tiempo siguiendo a otro vehículo. Otros autores definen una velocidad umbral, como una velocidad mínima a la que los usuarios consideran aceptable viajar por un tramo de carretera de características uniformes con intensidades elevadas y circulando en cola (Romana y otros, 2007).

La función de estudio es:

$$t_r = t_0 + t_0 \cdot \alpha \cdot \left(\frac{q}{C}\right)^\beta \quad (1)$$

Donde:

t_r : tiempo de recorrido

t_0 : tiempo libre de recorrido

q/C : razón entre el volumen y la capacidad

α y β : parámetros a estimar en cada tipo de vía y carril

La capacidad en carreteras de calzadas separadas se ha obtenido a partir de la velocidad libre de circulación observada, y la capacidad en las carreteras de dos carriles se ha obtenido dependiendo del reparto de vehículos por sentido de circulación (HCM, 2000).

Toma de datos y tratamiento previo

El estudio se ha realizado en el periodo comprendido en los meses de primavera y otoño (abril, mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre). En la recogida de los datos no se ha hecho distinción del día de la semana o de la hora del mismo, puesto que se recogieron pares de valores de tiempo y volumen de vehículos. De este modo, no se están condicionando los resultados considerando



Carril de vehículos lentos. N-635.

únicamente periodos en los que el flujo de vehículos es elevado; o, por el contrario, en periodos en los que el flujo de vehículos es menor, por no tratarse de periodos punta. Tampoco se ha hecho distinción alguna en función de la zona en la que se encontrara la carretera en estudio, salvo su propia tipología.

Para el adecuado tratamiento de los datos se han establecido las consideraciones siguientes:

- Se han tenido en cuenta solamente los vehículos ligeros que circulaban por las carreteras de estudio, si bien es cierto que su tiempo de recorrido ha podido estar influenciado por la circulación de vehículos pesados.

- Circulación con existencia de incidencias debidas a accidentes o detenciones provocadas en intersecciones o por casos particulares. No se han considerado los casos donde el tiempo de demora o parada ha sido elevado y suponía una desviación excesiva de forma puntual; ya que las funciones BPR son continuas y derivables.

- Se han promediado los tiempos para un mismo valor de la razón volumen-capacidad en un mismo tramo de medición.

Se han obteniendo un número diferente de datos (pares de tiempo y

volumen de circulación) en función de la circulación de los vehículos en el momento de la toma. Se han medido tiempos de recorrido y el volumen de vehículos en periodos de pocos minutos. El intervalo de medida es corto debido a que es necesario correlacionar el tiempo de medida con un volumen de tráfico sin excesivas variaciones temporales en dichos minutos. Debido a que la circulación de los vehículos no tiene por qué ser regular y constante, se ha elegido un periodo de medida corto donde se presenten uno, dos o tres pelotones de vehículos únicamente; con un flujo aproximadamente constante en dicho tiempo. La longitud de los tramos sobre los que se han recogido las medidas es aproximadamente de 100 m. Al no ser muy grande dicha longitud, los vehículos atravesarán el tramo en menor tiempo, con lo que se pueden recoger los tiempos de varios vehículos en un mismo intervalo de medida. También se han recogido los tiempos de parada por incidencias locales.

Para el análisis del tiempo libre de recorrido se ha determinado su elección atendiendo al siguiente criterio: se selecciona el menor tiempo de recorrido que se observa en el intervalo en que han circulado menor cantidad de vehículos. Esto es, se

escoge el menor tiempo en que la relación volumen-capacidad sea menor. Se observa que existen unos pocos datos de tiempos de recorrido menores que el tiempo libre de circulación. Son situaciones donde los vehículos sobrepasan significativamente los límites de la velocidad permitida y generan desviaciones en los tiempos libres de recorrido; o, en otros casos, donde las condiciones de contorno no afectan a la velocidad, siendo ésta dependiente únicamente de las condiciones de trazado de la vía, pero sin intervenir la circulación por los arcones, señalización móvil o luminosa, etc., dando lugar a una situación excesivamente particular como para disminuir los tiempos libres de recorrido normales.

Se ha seleccionado una función que muestre la circulación de las carreteras de forma que, a medida que aumente el volumen de vehículos disminuya la velocidad de los mismos. Partiendo de la ecuación anterior, se puede expresar de la siguiente forma

$$\frac{t_r}{t_0} - 1 = \alpha \cdot \left(\frac{q}{C}\right)^\beta \quad (2)$$

o por simplificación:
 $y = \alpha \cdot x^\beta$

La longitud del tramo es un dato conocido, de manera que la velocidad de recorrido será:

$$v_r = \frac{v_0}{1 + \alpha \cdot \left(\frac{q}{C}\right)^\beta} \quad (3)$$

o reordenando la función:

$$\frac{v_0}{v_r} - 1 = \alpha \cdot \left(\frac{q}{C}\right)^\beta$$

Donde:

v_r : velocidad de recorrido

v_0 : velocidad libre de recorrido

El resultado de cada curva mostrará que para valores bajos de la razón volumen-capacidad, la relación de los tiempos "y" debe ser baja. Análogamente, se observará que para valores altos de esa razón, la relación de los tiempos debe ser, de igual modo, un valor elevado. Para la

calibración de los parámetros α y β de la función, se ha procedido a un análisis estadístico de regresión lineal. Se han minimizado los residuos entre los valores observados y los valores calculados para cada una de las funciones. Se ha analizado el coeficiente de determinación R^2 para medir el grado de ajuste del modelo, cuyo valor tiene que ser lo más cercano a 1. En tráfico y transporte, se considera adecuado si está dentro de un intervalo aproximado entre 0,7 y 1. Además se considera el estadístico "test t", que permite contrastar si cada parámetro, evaluado de forma independiente, es significativo. Su valor debe ser mayor de 1,96 para un nivel de confianza del 95%.

Análisis de resultados

De la totalidad de los datos recogidos, en los casos en que se han tomado varios tiempos en un mismo intervalo, donde la relación q/C es la misma, se ha obtenido un promedio del tiempo de recorrido. Para el mejor ajuste de las curvas se analizan los tiempos que generan mayores residuos en la regresión. Estas desviaciones se deben a irregularidades en la circulación, velocidades puntuales muy altas o muy bajas, o tiempos de parada muy significativos por incidencias e intersecciones. En cada caso, se analiza con detalle las circunstancias que generan los mayores residuos.

a) Carreteras 1+1. Carreteras de dos carriles, uno por sentido de circulación.

En este caso se han recogido un total de 824 datos.

La relación $y - x$ calibrada es:

$$y = 1.6716 \cdot x^{1.8565} \quad (4)$$

El valor del parámetro α es 1,6716 y el de β es 1,8565. El coeficiente de determinación R^2 es 0,7615. El estadístico "test t" es 2,0607 para la variable α y 11,4421 para la variable β , ambos superiores a 1,96.

Los valores que han causado mayores desviaciones se producen en casos donde se han sobrepasado las



Foto 1. Carretera Autónoma CA-131. Carretera de 2 carriles, uno por sentido de circulación.

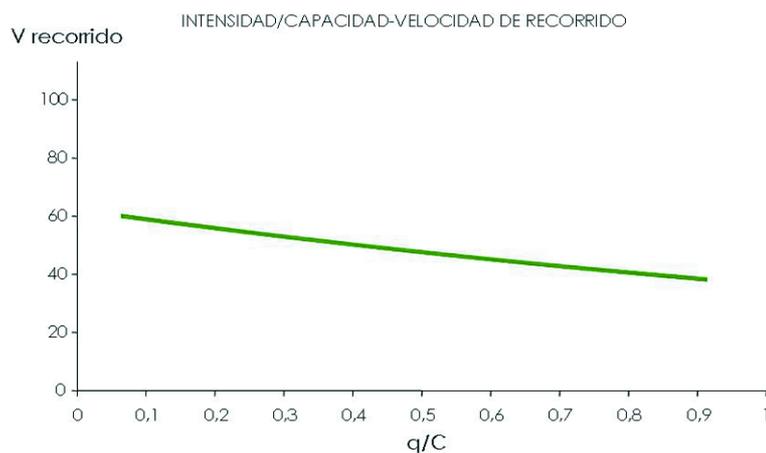


Gráfico 1: Relación velocidad de recorrido-intensidad/capacidad en carreteras 1+1.

normas de circulación y la velocidad de recorrido es muy superior a la velocidad límite de circulación, incluso con aparición de conductores imprudentes que realizan adelantamientos en zonas donde están prohibidos, o aprovechamiento del arcén como carril de circulación, especialmente en las curvas.

También han aparecido unas velocidades muy bajas para volúmenes de circulación bajos. Esto es debido a la circulación de vehículos pesados delante de vehículos ligeros que afectan en la velocidad puntual de los vehículos que circulan detrás, dando lugar a unos porcentajes muy altos de tiempo de seguimiento para adelantar. En zonas con rampa pronunciada ha habido mediciones de vehículos ligeros casi parados.

Los valores de la velocidad media libre son próximos a 70 km/h, influenciados por una escasa capacidad de los carriles donde su anchu-

ra es inferior a la ideal (3,60 m). Las anchuras de carril más numerosas en carreteras de dos carriles oscilan entre 3,20 y 3,45 m.

Las soluciones más apropiadas para las vías de tipo 1+1 son:

- Adaptación de la velocidad límite de circulación a las características de trazado y tráfico de la carretera, si no está afectada por otros condicionantes (intersecciones, edificios o viviendas próximos a la carretera, etc.). Existen numerosos tramos donde la velocidad libre de circulación supera significativamente la velocidad límite establecida.

- En rampas pronunciadas, disposición de carriles adicionales para vehículos lentos.

- Señalización clara de curvas peligrosas o con radio pequeño.

- Señalización clara de cruces e intersecciones.

- Correcta ubicación de desviaciones e intersecciones a nivel

■ No superación de la anchura ideal de los arcones (1,80 m), para evitar circular por los mismos, o evitar vehículos aparcados.

■ Disposición de efectivos personales y materiales que eviten los adelantamientos prohibidos.

b) Carreteras 1+2. Carreteras de tres carriles y dos sentidos de circulación en una misma calzada, con dos carriles para uno de los sentidos. Se analiza el carril exterior.

En el caso de las carreteras interurbanas del tipo 1+2 se han obtenido un total de 463 datos.

Se ha procedido a ajustar la función BPR de la velocidad de recorrido del carril destinado para la circulación de los vehículos lentos. La relación $y - x$ es:



$$y = 3.1829 \cdot x^{1.1578} \quad (5)$$

El valor del parámetro α es 3,1829 y el de β es 1,1578. El coeficiente de determinación R^2 es 0,5852. El estadístico "test t" es 3,6577 para la variable α y 8,3988 para la variable β . Su velocidad media libre de circulación se aproxima a valores de 90 km/h.

Los resultados estadísticos permiten obtener una curva con unas variables significativas, pero su nivel de ajuste no es del todo satisfactorio. Esta desviación de los datos es debida a dos motivos: primero, el hecho de haber un carril de circulación para vehículos lentos da lugar a velocidades muy bajas de los vehículos ligeros, e incluso puede causar una circulación discontinua; y segundo, la ubicación de este tipo de carriles suele ser en rampas pronunciadas, es decir, son rasantes de subida con inclinaciones muy altas, lo que puede dar lugar a velocidades

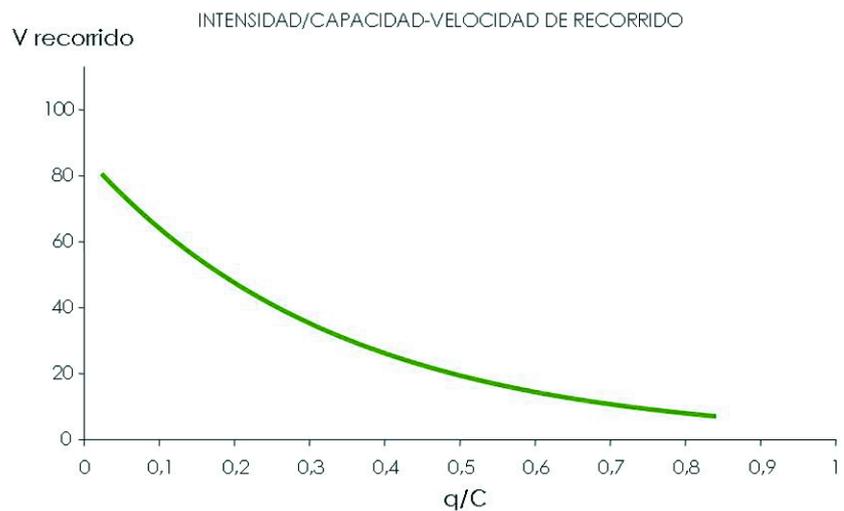


Gráfico 2. Relación velocidad de recorrido-intensidad/capacidad en carreteras 1+2.1.

también bajas. Así y todo, se ha detectado que la capacidad de estas vías es más alta que una carretera

existiendo un alto porcentaje de vehículos pesados.

Si se considera un segundo caso (1+2.2), formado exclusivamente por los datos de los vehículos con una velocidad de recorrido mayor de 60 km/h en dicho carril de circulación lenta, el ajuste es el siguiente:

$$y = 2.8198 \cdot x^{1.0791} \quad (6)$$

El valor del parámetro α es 2,8198 y el de β es 1,0791. El coeficiente de determinación R^2 es 0,7564. El estadístico "test t" es 3,8628 para la variable α y 10,7182 para la variable β . Su velocidad media libre de circulación se aproxima a valores de 90 km/h.

En este caso 1+2.2, resulta un ajuste mejor debido a que la circulación es completamente continua.

Resulta apropiado en las carrete-

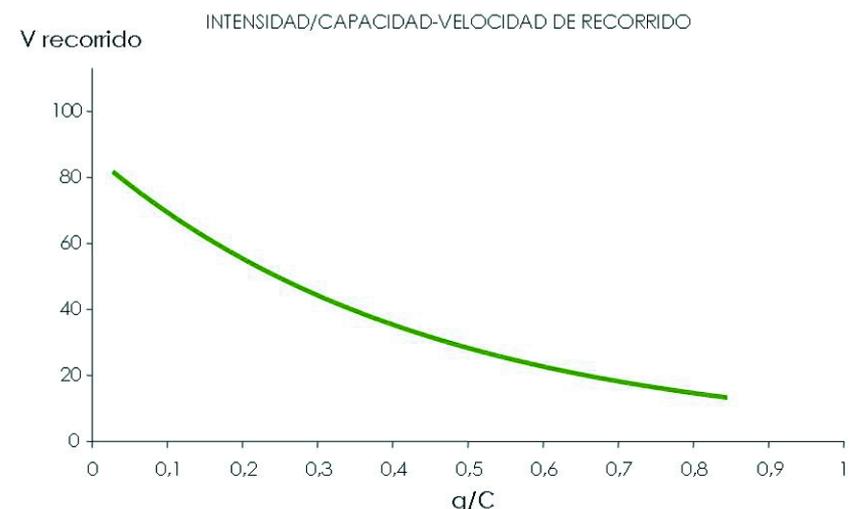


Gráfico 3. Relación velocidad de recorrido-intensidad/capacidad en carreteras 1+2.2.

ras de tipo 1+2:

- Disponer en rampas pronunciadas de carreteras de dos carriles, un carril de vehículos lentos.

- Contar con señalización clara para recomendar su uso a vehículos pesados o lentos.

- Permitir adelantamientos, ocupando el otro carril en el mismo sentido de circulación.

- Procurar acercarse a las anchuras de carril ideal (3,60 m), ya que, en caso de no existir vehículos lentos, su circulación es bastante fluida y rápida para las pendientes habituales de este tipo de carriles.

c) Carreteras 2+2. Carreteras de calzadas separadas, con dos carriles en cada sentido de circulación.

En este tipo de carreteras se ha observado que existe un flujo de vehículos diferente entre los carriles de la calzada, siendo el carril exterior por donde circula un mayor porcentaje de vehículos lentos. Hay dos posibilidades, el estudio del carril exterior o derecho (carril 2+2.1), y el estudio del carril interior o izquierdo (carril 2+2.2).

c.1) Carreteras 2+2.1, carril exterior

Se han obtenido un total de 756 datos.

La relación $y - x$ es:

$$y = 1.6808 \cdot x^{3.9661} \quad (7)$$

El valor del parámetro α es 1,6808 y el de β es 3,9661. El coeficiente de determinación R^2 es 0,7535. El estadístico "test t" es 2,0527 para la variable α y 13,2014 para la variable β . Su velocidad media libre de circulación es superior a 130 km/h.

c.2) Carreteras 2+2.2, carril interior

Se han obtenido un total de 357 datos. La relación $y - x$ correspondiente al carril más cercano a la mediana es:

$$y = 1.7704 \cdot x^{2.0282} \quad (8)$$

El valor del parámetro α es 1,7744 y de α es 2,0282. El coeficiente de determinación R^2 es 0,7958. El estadístico "test t" es 1,9607 para la variable α y 12,6398 para la variable β .

La velocidad media libre de circulación en el carril interior es próxima a 140 km/h, algo superior a la obtenida



Foto 2. Autovía A-8. Carretera con calzadas separadas y 2 carriles cada una.

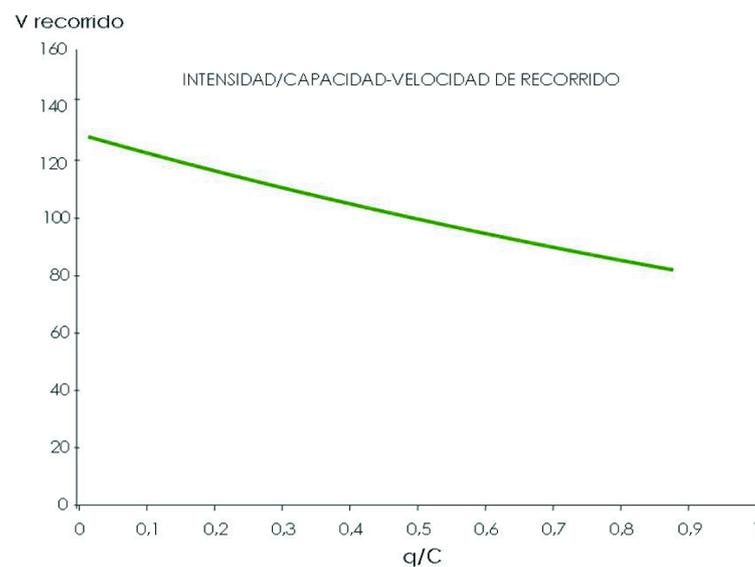


Gráfico 4: Relación velocidad de recorrido-intensidad/capacidad en carreteras 2+2.1.

nida en el carril exterior; y en ambos carriles superior a la velocidad límite de 120 km/h. También, se ha observado que la velocidad media de recorrido es mayor en el carril interior debido a que el número de vehículos pesados que circulan por el mismo es menor. En los carriles de carreteras con calzadas separadas se producen varios casos donde se han sobrepasado las normas de circulación (velocidades puntuales muy altas) o donde los tiempos de recorrido de algunos de los vehículos son muy altos, principalmente donde las rampas superan el 3%.

Entre las soluciones que permiten mejorar la circulación continua de los vehículos en las vías 2+2, son de destacar:

- Donde sea posible, proyectar la carretera con medianas amplias, pues

la circulación por el carril interior es más fluida.

- La capacidad y la velocidad media de recorrido aumentan si la pendiente de las rampas es inferior al 3%.

- La capacidad y la velocidad libre de circulación no está afectada por la velocidad límite, que junto con la velocidad que pueden desarrollar los vehículos y las características de los pavimentos actuales pueden hacer replantear las limitaciones vigentes (p.e. las autopistas en Francia tienen una limitación de 130 km/h, salvo en días lluviosos).

Comparación de resultados

Si se deriva la ecuación inicial (2) se obtiene una función dependiente de los parámetros ajustados y del

tiempo de circulación libre, que indica en qué caso influye más la aparición de un nuevo vehículo sobre el tiempo medio de recorrido de la carretera, atendiendo a la pendiente de la curva representada en cada uno de los casos.

$$\frac{dt_r}{d\left(\frac{q}{C}\right)} = t_0 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{q}{C}\right)^{\beta-1} \quad (9)$$

La velocidad media libre de circulación de las carreteras de calzadas separadas es superior a las carreteras de calzadas de doble sentido de circulación, algo esperado por ser claramente mejores sus características geométricas.

La velocidad media libre de circulación en las autopistas y autovías es superior en el carril interior (140 km/h) si se compara con su correspondiente carril exterior (130 km/h). Es debido a dos motivos: la mediana dota al carril más próximo de mayor capacidad, y su tráfico de vehículos pesados es inferior.

El tiempo medio de recorrido en el carril exterior de las calzadas separadas aumenta significativamente ante la aparición de una unidad de volumen nueva. Su aumento unitario (pendiente de la curva) es superior al del carril interior.

La velocidad media libre de circulación en los carriles de vehículos lentos es superior a la estimada en las carreteras de dos carriles; incluso la velocidad media de recorrido para relaciones volumen-capacidad es superior en este tipo de carriles. Esto se debe a que su capacidad tiende a tener las características de las carreteras multicarril con pendientes pronunciadas, con secciones más anchas que las carreteras de dos carriles. También, si el volumen de vehículos es bajo, los vehículos ligeros tienden a acelerar al subir la rampa e inicialmente desarrollan velocidades elevadas. A partir de relaciones volumen-capacidad de 0,20 la velocidad de recorrido en carreteras con carril adicional para vehículos lentos disminuye muy pronunciadamente con valores muy inferiores a los de-

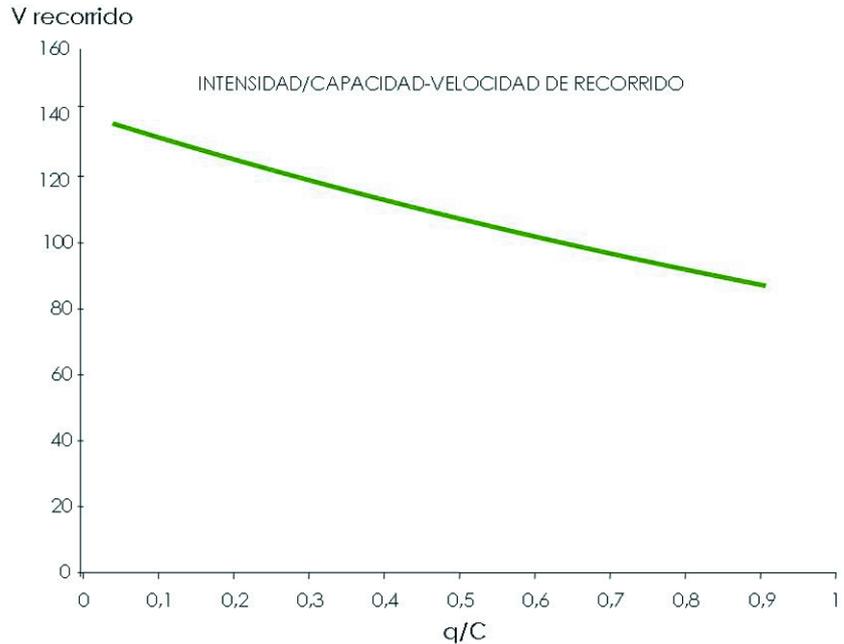


Gráfico 5: Relación velocidad de recorrido-intensidad/capacidad en carreteras 2+2.2.

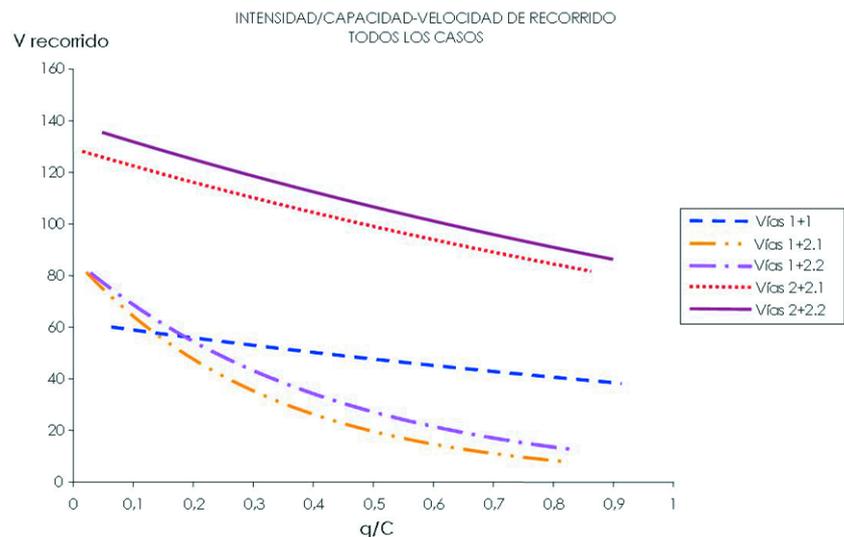


Gráfico 6: Relación velocidad de recorrido-intensidad/capacidad.

sarrollados en calzadas de separadas. Se deduce que para relaciones volumen-capacidad de 0,75 y cercanas al comienzo de una circulación en régimen de colas, las velocidades son muy bajas; y ante rampas pronunciadas y circulación de vehículos pesados, el resto de vehículos se mueven muy lentamente.

Las menores variaciones de las velocidades de recorrido aparecen en las carreteras de dos carriles (la pendiente de la curva es menos pronunciada), incluso la velocidad media libre es la más baja (65 km/h), y su capacidad está influenciada por ser secciones de calzada menos anchas,

existir tramos con prohibición de adelantamiento, y tener intersecciones con incorporaciones posibles a ambos lados de los carriles. Así y todo, el rango de oscilación de la relación entre la intensidad y la capacidad de la carretera de dos carriles varía entre 0 y 0,6, llegando en muy pocos casos a una circulación en capacidad.

Es necesario destacar que en muy pocos datos observados se han obtenido valores puntuales de la relación volumen-capacidad (q/C) superiores a 1, incluso sobrepasándola en un 10 ó 15% (p.ej. diversos tramos de la Autovía del Cantábrico). La definición de capacidad de una carre-



Carril de vehículos lentos. N-634. Solares.

tera es “el número máximo de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar una sección durante un período dado, en unas condiciones prevalecientes de la carretera y del tráfico, expresado en vehículos/hora”. Son valores donde han existido cambios puntuales en el tramo de medida para poder ajustar mejor la función. Son medidas realizadas en periodos de hora punta donde han existido regulaciones de tráfico no prevalecientes (p.e. muy malas condiciones climáticas, efectos de intersecciones y ramales con colas que impiden una circulación continua, actuación y permiso de paso policial, actuaciones de mejora justo en el acceso de la intersección, etc.) y se han registrado valores de volúmenes mayores que la capacidad prevaleciente. Es de destacar cómo, en las carreteras interurbanas, cualquier actuación o cambio inusual en la circulación afecta a la capacidad y velocidad libre de forma más significativa. También es de reseñar cómo, en los modelos deterministas que relacionan la velocidad y el volumen, es muy probable que, para volúmenes cercanos a la capacidad,

se espere un comienzo de circulación inestable debido a cambios de la capacidad de las vías muy difíciles de recoger por el hecho de no ser prevalecientes, de tal forma que se rompe la continuidad de la función. Hay aspectos climatológicos, de regulación o ubicación de intersecciones y otros condicionantes que son complicados de medir. Existen modelos que aceptan esta discontinuidad (p.ej. de Edie o Greenberg); pero en este caso los valores de la relación q/C tan altos mantienen una función continua con un buen grado de ajuste.

Conclusiones y recomendaciones generales

Las principales conclusiones son:

Las funciones BPR se pueden utilizar en los estudios del tráfico en régimen de circulación continua y en la planificación de sistemas de transporte que asignen los vehículos a la red y utilizando como variable de coste el tiempo de recorrido, incluso comparando la asignación de volúmenes de vehículos por carril.

La velocidad libre y de recorrido es mayor en la vías con calzadas separadas.

En el carril interior de las autovías y autopistas se obtienen velocidades de recorrido más elevadas que en el carril exterior de este mismo tipo de vías.

La menor velocidad libre de circulación se da en las vías de dos carriles, siendo esta la situación en la que la velocidad de recorrido disminuye de forma gradual, sin sobresaltos bruscos y registrando las menores variaciones de velocidad frente a incrementos de volumen elevados.

La velocidad media libre de circulación es superior en los carriles para vehículos lentos que en las carreteras de dos carriles. Esto es debido a la existencia de velocidades puntuales muy elevadas, aunque las condiciones de trazado se aproximen a carreteras multicarril.

Donde existen dos carriles en la misma vía y para el mismo sentido de circulación, se aprecia que: las velocidades de recorrido observadas para el carril interior son más elevadas que para el carril exterior; en el carril exterior es frecuente encontrarse con flujos altos de vehículos cuya velocidad media de recorrido se ve influida por el resto de vehículos que circulan por el mismo carril; mientras que en el carril exterior los factores que influyen en la velocidad son debidos principalmente a los vehículos lentos, en el carril interior la velocidad se ve coartada por elementos del trazado; la capacidad y velocidad media de los carriles externos disminuyen con el número de accesos y ramales laterales; en el carril interior se circula, en muchos casos, con velocidad cercana a la libre de circulación con un nivel de servicio A o B, mientras que en el carril exterior el nivel de servicio empeora notablemente.

La influencia del incremento de volumen en la disminución de velocidad es mayor en los carriles para vehículos lentos.

Para mejorar las condiciones de las vías en términos generales se de-

berá analizar la situación e implantar medidas para la optimización de la circulación de los vehículos. Se ha observado, en los datos tomados, la existencia de muchos vehículos que circulan con exceso de velocidad en todo tipo de carreteras, generando un alto riesgo de accidentes; por ello, se está ante una clara necesidad de control. Para evitar esto, es necesaria la implantación de radares, presencia de agentes, etc. También es significativo, que, para las condiciones geométricas existentes en las carreteras con calzadas separadas, la velocidad límite está claramente por debajo de la velocidad media de libre circulación.

Cabe destacar que una de las medidas más importantes, donde se debería hacer especial hincapié, es la conservación y mantenimiento de la sección y firme de la carretera para mantener dentro de lo posible su capacidad y nivel de servicio.

Una mejora de la señalización de las vías corregiría los defectos de la circulación lo que conllevaría una mejora del nivel de servicio. La mejora se puede producir centrándose en: la señalización de intersecciones, la señalización de los movimientos de giros, trazados peligrosos, inclinaciones pronunciadas, adelantamientos, etc.

No resulta recomendable superar el ancho ideal de los arcones (1,80 metros), incluso se puede disminuir a 1,50 m, para evitar considerarlos como un nuevo carril de circulación.

También se deberán analizar las siguientes situaciones: evitar estacionamientos en los arcones de las vías interurbanas, el impacto de las pendientes de bajada, control en los accesos laterales con prohibición mayoritaria de giros a la izquierda en carreteras de calzada única, prevención de la interacción entre las colas de las intersecciones o ramales cercanos (fenómeno que cada vez es más negativo en el tráfico de autopistas y autovías), mejora de la señalización con paneles luminosos y ajuste del sentido de los carriles donde la demanda lo exija mediante carriles reversibles, etc.



Autovía A-8. Heras.

Bibliografía

1. CABRERA, ENRIQUE. "La Congestión en Santiago". Seminario sobre medidas de control de la congestión de tránsito. Santiago, Chile. 24 págs. 20 al 21 de marzo de 2002.
2. CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS S.C. "Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte en Santafé de Bogotá". Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá. 1998.
3. CAL Y MAYOR, RAFAEL. "Ingeniería del tránsito". Asociación Mexicana de Caminos. 1972. 3ª edición.
4. ESPINO, RAQUEL. "Análisis y Predicción de la Demanda de Transporte de Pasajeros. Una Aplicación a Dos Corredores de Transporte en Gran Canaria". Tesis doctoral Univ. de Las Palmas de Gran Canaria, España. 187 págs.
5. KRAEMER, CARLOS Y OTROS. "Ingeniería de Carreteras Vol I". Ed. McGraw-Hill Interamericana de España. (2003-2004).
6. GARDETA OLIVEROS, J. Y SÁNCHEZ BLANCO, V. "Ingeniería de Tráfico Vial". CICCIP. Año 1997.
7. LUTTINEN, R. T. "Capacity and Level of Service on Finnish Two-Lane Highways". Helsinki, Finnish Ro-

ad Administration, Traffic and Road Engineering. Finnra Reports. 2001.

8. REVILLA DURÁN, VICENTE. "Autovía del Cantábrico". 87 págs. Año 2006.

9. ROMANA GARCÍA, M. "Evaluación Práctica de Niveles de Servicio de Carreteras Convencionales de Dos Carriles en España". Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX. 1997.

10. ROMANA, M. y PÉREZ I. "La Definición de un Umbral de Velocidad para Medir el Nivel de Servicio en Carreteras de Dos Carriles". Revista Rutas. ATC. N° 118. 2007

11. SÁNCHEZ BLANCO, VÍCTOR Y GARDETA OLIVEROS, JUAN. "Ingeniería de Tráfico Vial". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Servicio de publicaciones. Madrid. 1997.

12. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. "Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual)" 2000.

13. VALDÉS, ANTONIO Y OTROS. "Ingeniería de Tráfico". Ed. Dossat S.A. 1996.

14. VEGA ZAMANILLO Y OTROS. "Distribución urbana de mercancías y el tráfico de Santander". Revista Carreteras. N° 149. 2006. ■