

ESTIMACIÓN DEL PORCENTAJE DE VEHÍCULOS DEMORADOS EN FUNCIÓN DE VARIABLES DE LA CIRCULACIÓN EN CARRETERAS CONVENCIONALES DE DOBLE SENTIDO

Manuel Romana García.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Prof. Titular de Universidad.

Departamento de Ingeniería Civil: Transportes. Universidad Politécnica de Madrid.

M^a Gemma López Gómez.

Estudiante de 6º de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Departamento de Ingeniería Civil: Transportes. Universidad Politécnica de Madrid.

RESUMEN

En el modelo aceptado de determinación del nivel de servicio en carreteras de dos carriles el parámetro más importante es el porcentaje de tiempo demorado. El único modo de determinarlo, de acuerdo con el Manual de Capacidad norteamericano, es a través del porcentaje de vehículos demorados. Hasta el momento no existe ninguna herramienta para estimar a partir de datos de tráfico este parámetro. El presente artículo resume los trabajos realizados para la elaboración de un modelo que da este paso, y permite estimar este parámetro mediante regresiones múltiples en función de varias variables: las intensidades en ambos sentidos, y las velocidades medias de recorrido. Los datos de partida han sido recogidos en cuatro carreteras de la Comunidad de Madrid con intensidades altas.

Los períodos de análisis han sido de 5 minutos. Como resultado final se ofrece el modelo en gráfico y fórmula.

ABSTRACT

According to current practice, the basic measure of effectiveness to establish the existing level of service in rural highways is percent time delay. The surrogate measure -Highway Capacity Manual, TRB 1995- is the percentage of delayed vehicles. There are no models up to now that allow the practitioners to estimate this parameter using traffic characteristics, such as directional volumes or travel speeds. The present publication proposes different models for the estimation of the percentage of delayed vehicles through multiple regressions. The data used to obtain the models were gathered in four highways in the province of Madrid, with high hourly volumes. The analysis was carried out in 5-minute periods. The final result is the proposed model, in a graph and in the formula.

Se permiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
enero de 1997.

Recibido en ROP:
septiembre de 1996

1. INTRODUCCIÓN

El Manual de Capacidad del TRB norteamericano, en su capítulo 8, caracteriza el nivel de servicio (NS) de las carreteras de dos carriles en función de un parámetro básico: el porcentaje de tiempo con demora. Dada la imposibilidad de realizar la medición de esta variable, el propio manual indica que debe estimarse mediante el porcentaje de vehículos demorados (%VD). De esta forma, el %VD, que se define como el porcentaje de vehículos que pasan por una sección de la carretera con un intervalo menor que el crítico, pasa a ser la variable fundamental en la determinación del nivel de servicio.

A partir de un trabajo anterior, el primer autor del presente artículo estableció el valor de este intervalo crítico en 4 segundos, valor que se ha empleado en el presente estudio.

El Manual no ofrece ningún medio de predecir o estimar el %VD, a excepción de una curva que relaciona %VD total en función de la intensidad total. Es reseñable el hecho de que esta curva no se utiliza en la metodología propuesta por el Manual. En cualquier caso, no existe hasta la fecha ninguna propuesta que permita estimar el %VD por sentido de circulación.

El presente trabajo expone los resultados de correlaciones múltiples para predecir %VD en cada sentido en función de las variables siguientes:

- ▼ Intensidad en sentido 1
- ▼ Intensidad en sentido 2
- ▼ Velocidad media de recorrido
- ▼ Velocidad correspondiente al percentil 85 (V_{85})

La idea inicial fue expresar %VD como resultado de una función de producción, en la que los factores productivos serían la intensidad en senti-

do 1 y la intensidad en sentido 2. Sin embargo, se demostró pronto que no se cumplía la propiedad de consistencia: no siempre crece el %VD al crecer las intensidades en sentidos 1 y 2. Por ello se optó por el método de correlación múltiple.

2. DATOS UTILIZADOS

Los datos empleados fueron los obtenidos en tomas de datos de tres horas en cuatro carreteras de la Comunidad de Madrid (M-111, M-501, M-600 y M-607), en terreno llano o algo ondulado y procurando recoger los periodos punta diarios o semanales. La IMD y el porcentaje de vehículos pesados correspondientes a 1991, por orden de realización de experimentos, fueron 9.500 (6,4 %) en la M-607, 9.800 (5,1 %) en la M-600, 8.100 (8,6 %) en la M-111 y 14.400 en la M-111 (5,0 %). La tabla 1 recoge los tramos en los que se realizaron mediciones. Se emplearon dos cámaras en cada toma de datos. Una información más detallada de la metodología y proceso de toma de datos está contenido en una monografía específica sobre el tema. (4)

Para el análisis se dividió el tiempo total en periodos de 5 minutos, sin cortar colas. El total teórico de periodos analizados son, por tanto:

$$4 \text{ carreteras} \times 2 \text{ cámaras} \times 2 \text{ sentidos} \times 3 \text{ horas} \\ \times 12 \text{ periodos/hora} = 576$$

El total real es algo menor, 536, a causa de las exigencias de no cortar colas, lo que ocasionó la adopción de periodos de algo más de 5 minutos. Para cada periodo se determinaron las siguientes variables:

- ▼ Intensidad en el sentido analizado (veh/h)
- ▼ Intensidad en el sentido contrario (veh/h)
- ▼ Intensidad total, como suma de las anteriores (veh/h)
- ▼ Velocidad media de recorrido (km/h)
- ▼ Velocidad correspondiente al percentil 85 (V_{85})
- ▼ %VD, porcentaje de vehículos demorados en sentido analizado
- ▼ Porcentaje de vehículos pesados en sentido analizado
- ▼ Porcentaje de vehículos pesados en sentido contrario

Para contar únicamente con situaciones independientes, se limita el número a una sección por

TABLA 1. TRAMOS ELEGIDOS PARA LA TOMA DE DATOS

TOMA DE DATOS	VÍA	TRAMO	FECHA	IMD (1991)	LONGITUD DEL TRAMO
1	M-607	Colmenar - Guadarrama	06/ 07/1991	9.500	4,7 km
2	M-600	El Escorial - Guadarrama	08/06/1992	9.800	2,65 km
3	M-111	Fuente El Saz - Algete	08/07/1992	8.100	1,75 km
4	M-501	Nava del Rey - Chapinería	22/04/1993	14.400	3,55 km

carretera. Con ello el número de períodos independientes es de 268.

Se denominó sentido directo al correspondiente a la intensidad más cargada, que se dirigía hacia la cámara, y sentido inverso al contrario. En la figura 1 se representan las intensidades recogidas en un gráfico con la intensidad en sentido directo (I_d) en el eje de abscisas y la intensidad en sentido inverso (I_i) en el de ordenadas. Se observa que existen puntos de todas las intensidades, con proporciones de I_d/I_i entre el 30 y el 95%. No debe confundirse la terminología de sentido directo e inverso de la toma de datos con la I_1 e I_2 del análisis. La tabla 2 resume los criterios de terminología empleados.

En la tabla 3 se indica el número de períodos considerados según el reparto y el %VD. Se observa que el número de períodos con que se cuenta en cada celda es considerable, si bien es máximo para un reparto del 50/50 y un %VD de entre 40 y 50%.

3. PLANTEAMIENTO DE MODELOS A ESTUDIAR

Las variables de la circulación que intervienen razonablemente en el incremento de vehículos de-

TABLA 2. SIGNIFICADO DE LA NOTACIÓN DE SENTIDOS

PROCESO	SENTIDO	SIGNIFICADO
TOMA DE DATOS	directo	los vehículos se mueven hacia la cámara
	inverso	los vehículos se alejan de la cámara
ANÁLISIS	1	sentido de tráfico considerado
	2	sentido opuesto al considerado

TABLA 3. NÚMERO DE PERÍODOS ESTUDIADOS SEGÚN REPARTO Y %VD

PERÍODOS (REPARTO)				PERÍODOS (%VD)			
I_1/I_{total} (%)	N	frecuencia (%)	acumulada (%)	%VD	N	frecuencia (%)	acumulada (%)
0	0	0,00	0,00	0	4	1,49	1,49
10	18	6,72	6,72	10	1	0,37	1,87
20	38	14,18	20,90	20	6	2,24	4,10
30	7	2,61	23,51	30	20	7,46	11,57
40	20	7,46	30,97	40	52	19,40	30,97
50	52	19,40	50,37	50	71	26,49	57,46
60	48	17,91	68,28	60	33	12,31	69,78
70	22	8,21	76,49	70	17	6,34	76,12
80	7	2,61	79,10	80	32	11,94	88,06
90	38	14,18	93,28	90	28	10,45	98,51
100	18	6,72	100,00	100	4	1,49	100,00
TOTALES	268	100		TOTALES	268	100	

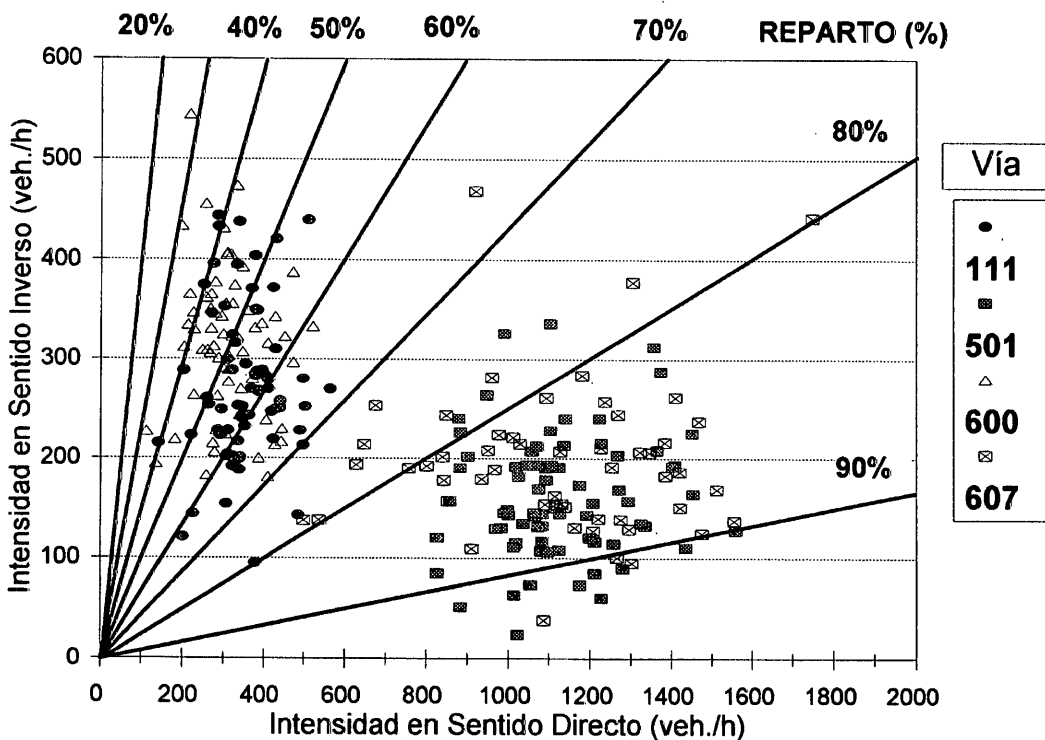


Figura 1. Datos disponibles. Intensidades y Reparto.

morados y que están recogidas en los datos disponibles son las citadas en el apartado 2.

El objetivo inicial del trabajo era determinar la expresión que permitiese estimar el %VD mediante una función de producción. Una función de producción es la relación entre la cantidad de producto y las cantidades insumidas de los distintos factores considerados. En este caso los factores serían las intensidades y el producto el %VD.

Estas funciones se pueden representar por curvas de igual nivel o isocuantas, las cuales expresan un producto constante en función de las cantidades de productos consideradas. Estas curvas tienen forma hiperbólica, por lo que el modelo más apropiado es de tipo logarítmico. El desarrollo teórico existente hace de un modelo de producción un instrumento muy potente. Por tanto, el primer modelo planteado para el estudio fue logarítmico. Sin embargo, los resultados no fueron satisfactorios en lo que se refiere a nivel de significación y coeficiente de correlación r^2 . Debido a este resultado se intentaron modelos de regresión lineal múltiple con las variables mencionadas.

En primer lugar los modelos se plantean con dos variables independientes, las intensidades en ambos sentidos de circulación, y el %VD como variable dependiente. Asimismo se plantean otros modelos introduciendo variables que puedan afectar directamente al %VD, introduciendo como tercera variable dependiente el número de vehículos pesados y la velocidad de los vehículos respectivamente. Por último, se estimó la relación directa entre %VD y la velocidad media.

En el apartado siguiente se recogen los resultados obtenidos más significativos.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1. MODELOS LINEALES BASADOS EN INTENSIDADES

En este caso las variables independientes utilizadas son las intensidades, mientras que la dependiente es %VD. Para tener una primera idea de cómo es la función buscada se representaron los puntos obtenidos en la toma de datos. Se agruparon según el %VD, y se representaron en los ejes las intensidades a favor y en contra.

Para estudiar si en las correlaciones se consideraban los términos independientes distintos de cero se estudió la idoneidad de ello. Si bien es cierto que a intensidades nulas corresponde, lógi-

TABLA 4. REGRESIÓN %VD = A * I₁ + B * I₂ + C

Modelo lineal	A	B	C	r ²	r
Todos los datos (N=268)	0,0448	0,0098	25,2368	0,6605	0,812693
Valor Máximo	0,0469	0,0098			
Valor Mínimo	0,0428	0,0077			

camente, un porcentaje igualmente nulo de vehículos demorados, se comprueba que %VD crece rápidamente entre 0 y 30, ya que si los vehículos se agrupan de dos en dos %VD es el 50 %. Por ello se optó por mantener la constante distinta de cero, representando la constante en las regresiones lineales un valor mínimo de %VD que se alcanza incluso con intensidades bajas.

En todos los casos se exponen los resultados obtenidos y los valores máximos y mínimos de cada coeficiente.

Conviene recordar que el coeficiente r^2 es el coeficiente de determinación, que es el cociente entre la variación explicada y la variación total, según la fórmula

$$\frac{\text{variación explicada}}{\text{variación total}} = \frac{\sum (y_{\text{est}} - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

El valor de r^2 es algo bajo, y es necesario intentar mejorar la precisión del modelo examinándolo detenidamente.

Para mejorar estos resultados se intentaron dos caminos. El primero consistió en dividir la muestra en distintas poblaciones según el valor de %VD, para intentar obtener regresiones de mayor fiabilidad para cada grupo. Se obtiene pues, una nube de puntos para cada uno de los siguientes cinco intervalos: (0,20), (20,40), (40,60), (60,80), y (80,100). La representación de los puntos parecía indicar que la función buscada tendría el mismo aspecto que las funciones de producción económicas, es decir, que la forma hiperbólica se adaptaría mejor a la nube de puntos. Sin embargo, los coeficientes de correlación no crecieron significativamente.

El segundo intento consistió en analizar la relación entre el reparto del tráfico y %VD. Se denominó reparto al resultado de la siguiente expresión:

$$\text{Reparto} = \frac{I_{\text{a favor}}}{I_{\text{a favor}} + I_{\text{en contra}}} = \frac{I_{\text{a favor}}}{I_{\text{total}}}$$

Se comprobó que en los casos en los que la intensidad de la circulación a favor es muy inferior a la intensidad en contra el comportamiento observado es inestable, es decir, que %VD resulta muy variable (ver la figura 2). Por ello se eliminaron los puntos correspondientes a Reparto < 20%. El resultado de la regresión es el expresado en la tabla 5.

Se observa que, siendo los coeficientes A, B y C prácticamente los mismos, mejora claramente el coeficiente r^2 (coeficiente de determinación) respecto al obtenido considerando todos los datos disponibles. El resultado del ajuste puede comprobarse en la figura 3, que presenta los valores observados en abscisas y los estimados en ordenadas. El ajuste es peor para valores bajos de %VD, pero de buena calidad en el resto de los casos.

En cuanto a los coeficientes, se observa que tienen un signo lógico -%VD aumenta cuando lo hacen las intensidades- y que sus valores máximos y mínimos son sensiblemente similares, siendo por tanto los errores de la estimación menores

**TABLA 5. REGRESIÓN %VD = A * I1 + B * I2 + C
(EXCLUIDOS LOS DE REPARTO < 20%)**

Modelo lineal	A	B	C	r^2	r
Reparto >20% (N=212)	0,0443	0,0096	25,5411	0,7964	0,8924
Valor Máximo	0,0459	0,0133			
Valor Mínimo	0,0427	0,0059			

que el valor de los coeficientes. El valor de C igual al 25% quiere decir que es difícil encontrar corrientes de tráfico en las que el porcentaje de vehículos demorados sea inferior a este valor. Esto se comprueba en las observaciones realizadas, que no incluyen tráficos muy ligeros, ya que se buscaron situaciones con intensidades altas.

4.2. MODELOS LINEALES BASADOS EN INTENSIDADES Y PROPORCIÓN DE VEHÍCULOS PESADOS

Otro factor que puede influir en %VD es el porcentaje de vehículos pesados que existen en la circulación. Desde el punto de vista de esta varia-

**PERÍODOS CON I1/total < 0,20
El rótulo indica el cociente I1/total**

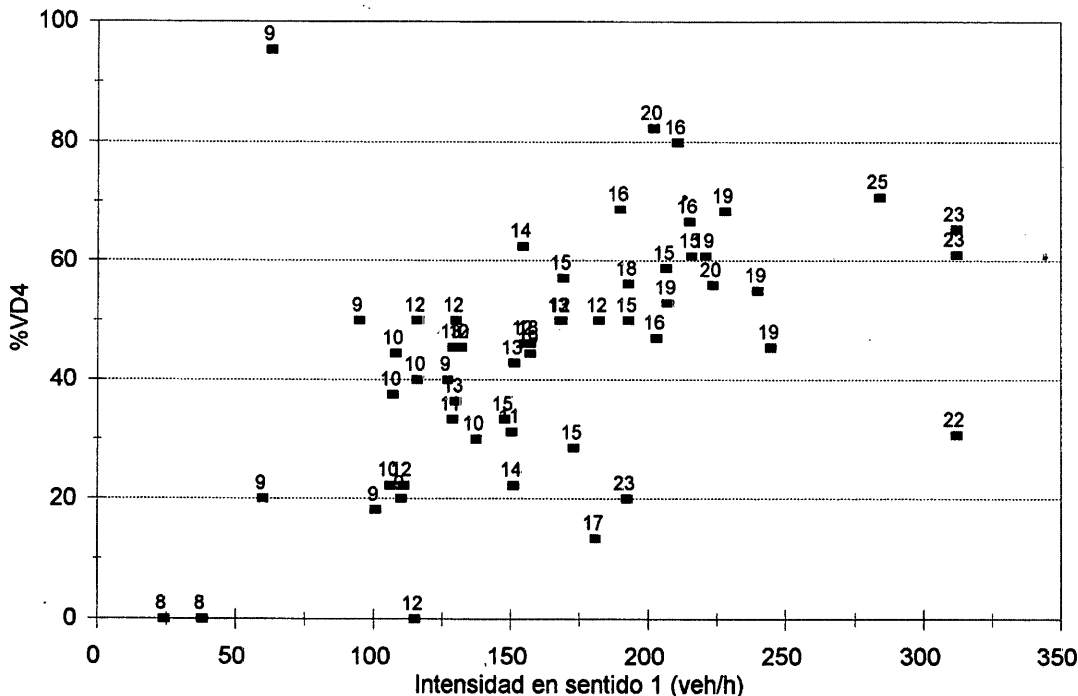
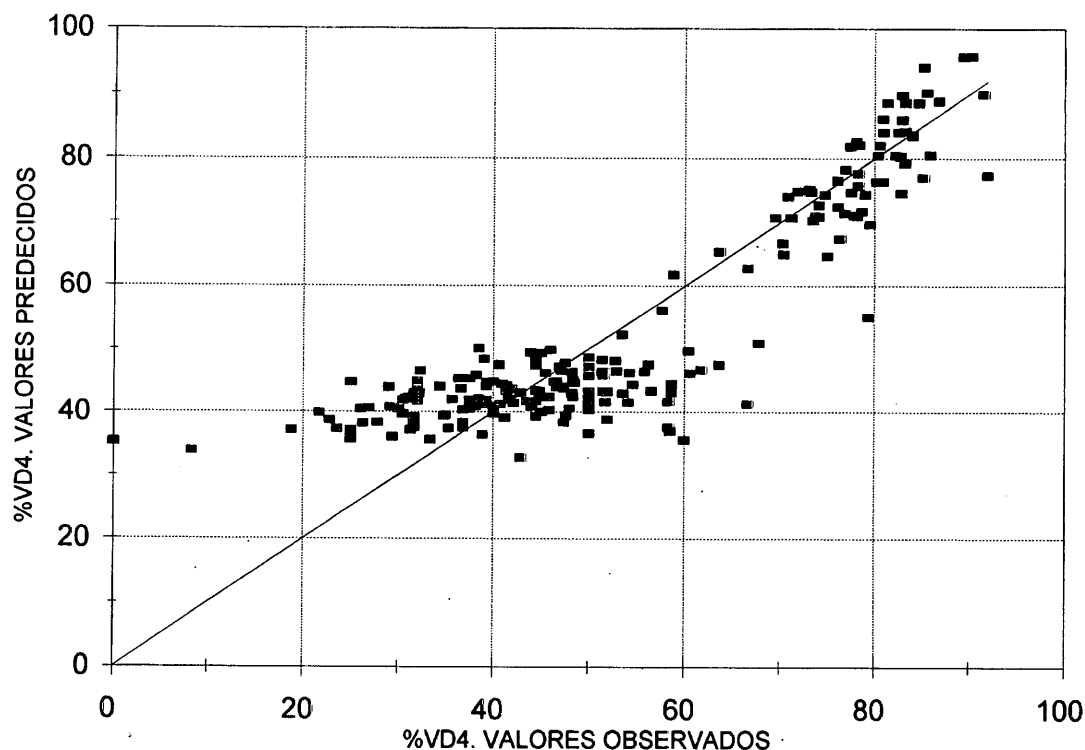


Figura 2. %VD para reparto < 20%.

Figura 3. Ajuste de valores medidos y valores estimados (Reparto < 20%).



ble, los datos recogidos en la cuatro carreteras pueden dividirse en dos grupos: los correspondientes a días laborables y los correspondientes a sábados. En toda la comunidad las máximas intensidades se producen en fines de semana. Por ello se eligieron las carreteras M-501 y M-607. En

laborable se realizaron las medidas en las carreteras M-111 y M-600.

Las dos carreteras medidas en sábado tiene intensidades altas, pero pocos vehículos pesados. Las dos carreteras medidas en laborable tienen intensidades más bajas y porcentajes de pesados más altos. Así, se produce una paradoja ambiental: la regresión dice que el coeficiente que afecta a los vehículos pesados es negativo. Cuando aumenta el porcentaje de pesados disminuye %VD. Para estudiar si esta paradoja provenía de la consideración de los datos como un único conjunto se analizaron los datos por separado en ambos grupos. Ello permitiría estudiar por separado las distintas circulaciones, y establecer con ello coeficientes para cada una de ellas. Así, se obtuvieron las correlaciones para los siguientes casos:

- ▼ Carreteras M-111 y M-600
- ▼ Carretera M-111
- ▼ Carretera M-600
- ▼ Carreteras M-501 y M-607
- ▼ Carretera M-501
- ▼ Carretera M-607

Por otra parte, en las circulaciones estudiadas el porcentaje de vehículos pesados es en general

TABLA 6. NÚMERO DE PERÍODOS ESTUDIADOS SEGÚN % DE PESADOS

% PESADOS	N	PERÍODOS	
		frecuencia (%)	acumulada (%)
0	27	10,07	10,07
10	120	44,78	54,85
20	90	33,58	88,43
30	20	7,46	95,90
40	8	7,46	98,88
50	2	0,75	99,63
60	1	0,37	100,00
70	0	0,00	100,00
80	0	0,00	100,00
90	0	0,00	100,00
100	0	0,00	100,00
TOTALES	268	100	

TABLA 7. REGRESIÓN %VD = A * I₁ + B * I₂ + C * %pesados + D. M-111 y M-600

Modelo lineal	A	B	C	D	r ²	r
M-111 y M-600 (N=142)	0,062189	-0,00462	-0,085608	24,95299	0,233846	0,48358
Valor Máximo	0,072257	0,00512	0,0120175			
Valor Mínimo	0,05212	-0,01436	-0,1826335			
M-111 N= 72	0,076483	0,00398	-0,0904548	16,96657	0,420851	0,64873
Valor Máximo	0,088136	0,01488	0,0225992			
Valor Mínimo	0,06483	-0,00694	-0,2035089			
M-600 N=70	0,044518	-0,0165	0,0873385	33,34606	0,094905	0,30807
Valor Máximo	0,061793	0,00088	0,2759252			
Valor Mínimo	0,027243	-0,03388	-0,1012481			

TABLA 8. REGRESIÓN %VD = A * I₁ + B * I₂ + C * %pesados + D. M-501 y M-607

Modelo lineal	A	B	C	D	r ²	r
M-501 y M-607 (N=126)	0,031859	0,0011007	-0,43813	43,65035	0,667778	0,817177
Valor Máximo	0,0373	0,0063461	-0,29414			
Valor Mínimo	0,026417	-0,004145	-0,58213			
M-501 N= 74	0,025111	-0,001988	-0,68556	53,26932	0,691128	0,831341
Valor Máximo	0,033459	0,0060361	-0,51376			
Valor Mínimo	0,016763	-0,010012	-0,85736			
M-607 N=52	0,038685	0,0042529	0,24062	32,15162	0,681686	0,825643
Valor Máximo	0,045704	0,0111122	0,571206			
Valor Mínimo	0,031666	-0,002606	-0,08996			

bajo. En la tabla 6 se recogen las funciones de densidad y distribución de los porcentajes de pesados de los distintos periodos. Puede observarse que únicamente en 11 periodos se supera el 30% de pesados.

Los resultados se recogen en las tablas 7 y 8. Pueden observarse varios puntos relevantes. En primer lugar, los coeficientes de correlación son pequeños en todos los casos. Además, el error del coeficiente que afecta al porcentaje de vehículos pesados es mayor que el valor del coeficiente, por lo que el coeficiente mínimo es negativo y el máximo positivo. Los coeficientes A y B de las intensidades ya no son siempre consistentes, particularmente el correspondiente a la intensidad en sentido 2. Por último, los términos independientes (nú-

mero mínimo de %VD) oscilan entre el 16 y el 53 % para datos de carreteras individuales, y entre el 25 y el 44% para los dos tipos de circulación detectada.

Globalmente, los resultados indican que este conjunto de variables no explican suficientemente la existencia de vehículos demorados. Debe concluirse que en las carreteras estudiadas el porcentaje de vehículos pesados, que es bajo, no tiene una influencia clara en el porcentaje de vehículos demorados. Esto está en consonancia con lo determinado en el Manual de Capacidad. En terreno llano a ondulado el equivalente de pesados es pequeño (del orden de 2-3). Si además el porcentaje de pesados es bajo, su influencia en la circulación es pequeña.

4.3. MODELOS LINEALES BASADOS EN INTENSIDADES Y VELOCIDADES

Se han realizado las siguientes correlaciones: donde V_m es la velocidad media espacial en el período considerado,

$$- \%VD = A * I_{total} + B * V_m + C$$

donde V_m es la velocidad media espacial en el período considerado y

$$- \%VD = A * I_1 + B * I_2 + C * V_m + D$$

Los resultados se resumen en las tablas 9 y 10.

Se observa que los resultados más concordantes con los demás son los correspondientes a la primera regresión, que conlleva la consideración de la circulación como conjunta en los dos sentidos. Al separar los sentidos el coeficiente r^2 aumenta, pero el coeficiente de I_2 es de signo contrario al lógico. Además, los coeficientes mínimo y máximo de la velocidad son de distinto signo.

A fin de apreciar la relación entre $\%VD$ y velocidad se refleja en la figura 4 la nube de puntos medida. La correlación simple tiene un r^2 muy bajo, por lo que no se incluye. La relación es clara, habiéndose medido velocidades inferiores cuando aumenta el porcentaje de vehículos demorados.

Asimismo se realizaron las mismas correlaciones con V_{85} , la velocidad correspondiente al percentil 85. Los resultados fueron muy similares a los obtenidos con la velocidad media espacial y no aportan nada nuevo, por lo que no se incluyen.

5. CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha intentado relacionar el porcentaje de vehículos demorados ($\%VD$) en carreteras convencionales de dos carriles con otras variables de la circulación. Los resultados obtenidos indican que es posible predecir el porcentaje de vehículos demorados a partir de las intensidades en cada sentido. El modelo propuesto es el siguiente:

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

TABLA 9. REGRESIÓN $\%VD = A * I_{total} + B * V_m + C$

Modelo lineal	A	B	C	r^2	r
Todos los datos (N=268)	0,0448	0,0098	25,2368	0,6605	0,812693
Valor Máximo	0,0469	0,0098			
Valor Mínimo	0,0428	0,0077			

TABLA 10. REGRESIÓN $\%VD = A * I_1 + B * I_2 + C * V_m + D$

Modelo lineal	A	B	C	D	r^2	r
	0,04032	-0,01523	-0,0459	36,09721	0,85881	0,92672
Valor Máximo	0,04251	-0,00732	0,01357			
Valor Mínimo	0,03813	-0,02315	-0,1056			

Este modelo se ha reflejado en la figura 5. 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 de $\%VD$ es elevado (ver figura 2). 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 -siempre en términos relativos-, será muy difícil encontrar una ocasión de adelantarlos, 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 vehículos.

Se ha determinado también la relación entre $\%VD$, la intensidad total y la velocidad media. El coeficiente r^2 vale 0,6605, y no ha sido posible separar los distintos sentidos. Si se confirma el término independiente del 25%.

Los modelos propuestos son válidos 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 mo-

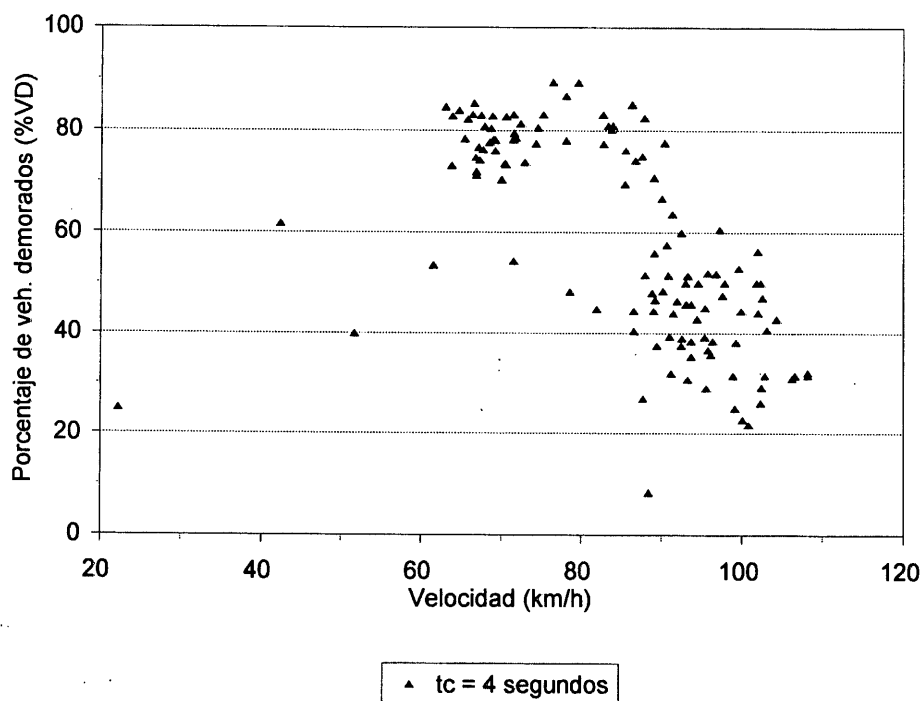


Figura 4.
Velocidades y
%VD.

delos sería necesario medir las mismas variables en carreteras:

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

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **BENNET, C.R. Y DUNN, R.C.M.** (1994) "Critical headways on two-lane highways in New Zealand". 2nd International Symposium on Highway Capacity. Australia.
- [2] **BONNESON, J.A. Y FITTS, J.W.** (1995) "Traffic data collection using video-based systems." University of Nebraska-Lincoln.
- [3] **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.
- [4] **ROMANA GARCÍA, M.** (1996) "Toma de datos de tráfico mediante vídeo. Aplicación a cuatro casos prácticos". Laboratorio de Caminos, monografía E02-96-01. Departamento de Transportes, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.

[5] **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. y Gardeta Oliveros, G.) ●

Figura 5. Modelo de estimación de %VD a partir de I_1 e I_2

