

Cuantificación de diversas magnitudes de tráfico (capacidad, velocidad, nivel de servicio) en carreteras de una calzada con dos carriles ⁽¹⁾

por Pedro Manuel Galán Bueno
Ingeniero de Caminos
Servicio de Planeamiento
Dirección General de Carreteras (MOPU)

(ESTA PONENCIA SE PRESENTARÁ AL CONGRESO DE MARRAKECH)



La variación de las características del parque circulante ha permitido un incremento en la capacidad. Foto 1 Revista MOPU (1980) y Foto 2 Revista Tráfico (1980).

1. Necesidad de estudio

La 3ª edición del manual de capacidad de carreteras (2), en lo referente a las carreteras de una calzada con dos carriles, presenta fuertes innovaciones en relación con la edición anterior, cuyo uso, por otro lado, se había extendido hasta el momento presente de una forma generalizada por todo el mundo. Como principales características destacaremos:

1. Existe un cambio sustantivo en la metodología (pág. 270 y siguientes), Capacidad máxima (pág. 48, 273 y 276), velocidad del recorrido (pág. 72 y 273) y niveles de servicio (pág. 274).
2. Pese a lo anterior, el manual señala la falta de información (pág. 72),

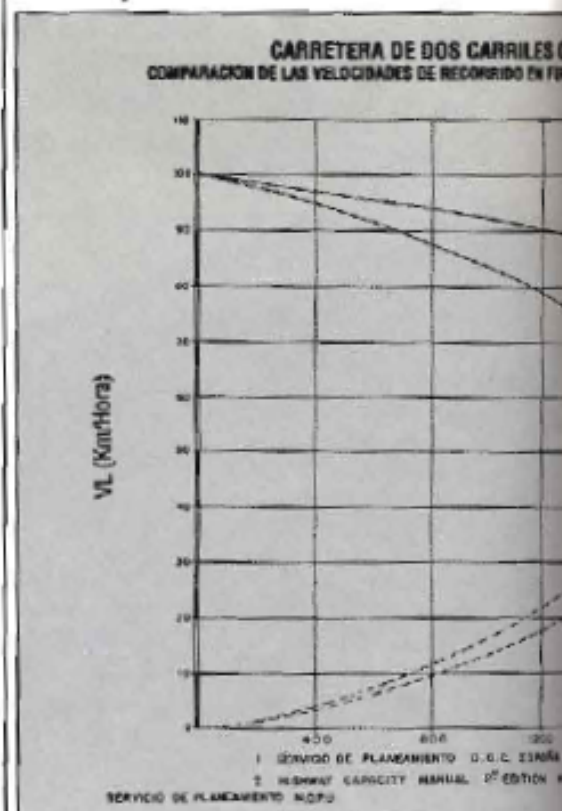
para precisar y cuantificar las distintas variables en este tipo de vías.

La variación es importante puesto que el HCM-85 indica que la capacidad de estas carreteras es un 40% superior a la máxima existente según el HCM-65 que era de 2.000 veh./hora-calzada (cifra que se ha venido empleando desde entonces en España) mientras que la velocidad de recorrido presenta menores variaciones en función del tráfico pudiendo señalarse que para una carretera con velocidad específica de 96 km/h, única que estudia el HCM 85, la pérdida de velocidad al llegar a la congestión es de un 25% mientras que el HCM-65 indicaba un 50% en ese punto.

De una forma gráfica, y ya con resultados de este estudio, (gráfico 1)

puede observarse la diferencia existente entre el HCM 65 y la situación actual para una carretera con velocidad específica de 100 km/h, en variables como la capacidad y la velocidad de recorrido. Actualmente y en el punto que consideraba el HCM 65 la congestión ($C = 2000$ veh./lig/calzada-hora. Punto A), queda todavía un 40% de capacidad (Punto A'), con una mínima disminución de la velocidad (15,4%).

Es por ello, que la Dirección General de Carreteras, habida cuenta de la importancia que tienen estas carreteras en España, y los muchos cambios e incertidumbres que presenta el HCM 85, ha desarrollado una campaña a lo largo de 1989 para acotar y determinar la relación existente entre las principales magnitudes de tráfico en este tipo de vías.



Los resultados han sido muy positivos ya que en primer lugar se ha corroborado los cambios que introduce el HCM 85, procediéndose a continua-

ción a cuantificar para todo tipo de carreteras de una calzada con velocidad específica distinta, el comportamiento de la velocidad en función del tráfico.

2. Planteamiento del estudio y trabajo de campo

Para determinar el tráfico, la velocidad de vehículos ligeros y la velocidad de vehículos pesados se ha empleado los medios de que dispone la Dirección General de Carreteras para la realización de las campañas anuales de aforos.

Se ha seleccionado en primer lugar un conjunto de 21 estaciones secundarias ubicadas a lo largo de la Red de Interés General (RIGE) (Gráfico 2), representativas de carreteras de una calzada con distinta velocidad específica (60-100 km/h).

El sistema de toma de datos consiste en bucles de inducción magnética situados en el interior del pavimento, que transmiten la información digitalizada a un procesador matemático localizado al borde de la carretera.

Se ha empleado para ello una opción (velocidad-longitud-intensidad), que distribuye los vehículos ligeros y pesados que pasan cada hora por la estación, según trece intervalos de velocidad.

ESPECIFICA DE 100 Km/H.
LA SITUACIÓN ACTUAL Y EN EL MANUAL ANTIGUO

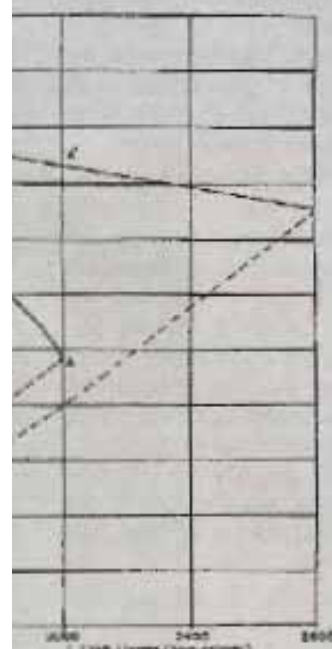


GRÁFICO 1

El período completo de toma de datos, en la opción elegida, es de 72 horas, habiéndose realizado en alguna de las estaciones hasta seis tomas de

Tabla 1 Características de las estaciones y resultados								
Estación	Carret.	V. Esp.	N. Horas	Tráfico. Maxim. I/C	Correlac.		Selección	
					VL-IC	VL-VP	VL-IC	VL-VP
CC-26	N-V	89,1	163	0,28	0,16	0,13		
CO-07	N-331	94,3	164	0,32	0,37	0,33	SI	
CS-19	N-234	84,5	152	0,69	0,16	0,50		SI
CR-03	N-IV	76,1	164	0,73	0,20	0,59		SI
CU-18	N-III	82	436	0,71	0,41	0,55		SI
GU-03	N-II	88,5	316	0,90	0,58	0,79	SI	SI
H-17	A-49	81,5	82	0,77	0,79	0,59	SI	SI
AB-40	N-301	78,5	82	0,36	0,49	0,47		SI
LE-03	N-630	84,5	154	0,37	0,26	0,30		
LO-03	N-232	72,5	79	0,23	0,38	0,73		SI
A-02	N-330	66,5	161	0,89	0,67	0,58	SI	SI
SA-06	N-620	86,5	164	0,50	0,54	0,51	SI	SI
BA-18	N-630	84	164	0,32	0,26	0,22		
B-02	N-II	83,5	141	0,80	0,73	0,32	SI	
BU-06	N-I	87,5	162	0,70	0,36	0,21		
C-04	N-550	65,1	61	0,32	0,45	0,14	SI	
CU-04	N-III	86	670	0,58	0,32	0,41	SI	SI
SG-01	N-4	79	320	0,69	0,42	0,61	SI	SI
CS-02	N-340	80,5	459	0,55	0,81	0,84	SI	SI
GE-05	N-260	88	299	0,59	0,60		SI	
GE-14	N-260	57,5	220	0,12	0,23			

datos para analizar la estabilidad de los resultados.

La toma principal de datos se ha efectuado a lo largo del primer semestre del año 1989, haciendo especial hincapié en períodos con fuerte carga de tráfico (fines de semana y Semana Santa).

Se ha utilizado, como complemento de la información anterior, los tráficos de las primeras doscientas horas del conjunto de estaciones permanentes en el año 1989 (estudio de capacidad) así como una muestra de la toma de velocidades efectuada a lo largo de 1988 para contrastar los resultados obtenidos.

Con el conjunto de datos recogidos en la carretera, se ha procedido en gabinete a analizar por separado los resultados de cada una de las estaciones, eliminándose aquellas que en cada uno de los estudios no ofrecían estabilidad en los resultados (para los distintos períodos de toma de datos) o una correlación suficiente. Las causas de las mismas se describe en los apartados correspondientes.

En la Tabla 1 se ha resumido las características más relevantes de cada estación, de la muestra y de los resultados obtenidos.

Junto a la denominación de la estación y la carretera en la que está



LOCALIZACIÓN ESTACIONES
SECUNDARIAS
PARA TOMA DE VELOCIDADES 1989

“**L**a campaña organizada por el Servicio de Planeamiento de la Dirección General de Carreteras del MOPU ha permitido no sólo constatar la menor incidencia del volumen de tráfico (I/C) en la pérdida de velocidad, sino la cuantificación para todo tipo de vías cuyas velocidades específicas estuvieran comprendidas entre los 60 y los 100 km/h.”

situada, figura la velocidad específica (V. esp) de la sección, que corresponde con lo que el manual denomina velocidad en régimen libre (pág. 630). Esta se ha obtenido en cada estación como semisuma de las velocidades correspondientes a tráfico nulo ($I/C = 0$) en las regresiones lineal y parabólica efectuada en cada uno de los puntos.

La relación intensidad-capacidad (I/C) se ha obtenido en cada hora siguiendo la metodología indicada por

el manual, una vez aplicados los factores de ajuste de hora punta, geometría y porcentaje de pesados.

A continuación y como referencia figuran las correlaciones lineales entre la velocidad de vehículos ligeros y tráfico (VL-I/C) y entre las velocidades de vehículos ligeros y pesados (VL-VP).

Finalmente se indica si los datos de la estación se han integrado en los estudios globales de velocidad de vehículos ligeros-Tráfico (VL-I/C) o en el de velocidades de vehículos pesados en función de la de vehículos ligeros (VL-VP).

3. Capacidad

Con anterioridad a la publicación del HCM-85 se había detectado incrementos de capacidad en alguna vía singular (3) sin tener la certeza que el hecho pudiera ser generalizable a todo tipo de vías.

Se ha analizado en primer lugar las intensidades horarias máximas registradas en el conjunto de estaciones permanentes a lo largo de 1989 (Tabla 2).

Del análisis de los valores registrados cabe señalar:

1. Existen 7 estaciones que han registrado 38 intensidades horarias superiores a 2.000 veh/h.
2. En los puntos donde se sitúan las estaciones existe prohibición de adelantar con lo cual hay una limitación de la capacidad máxima posible.



La mejora en el equipamiento y conservación de Foto 3: Carretera sin señalizar (Revista MOPU). Fot

3. El porcentaje de pesados oscila entre el 1% y el 23% lo que implica que la capacidad ideal sería como mínimo (caso de terreno llano) de 1,01 a 1,23 veces los valores registrados.

Por otro lado y con los datos obtenidos en este estudio se ha comprobado que la capacidad ideal de 2.000 veh-lig./hora-calzada (HCM-65) se ha visto superada en muchas ocasiones (Tabla 3).

Se ha utilizado los factores de ajuste que indica el nuevo manual (HCM-85 capítulo 8) pudiéndose extraer las siguientes conclusiones:

1. En 6 de las 21 estaciones secundarias donde se ha efectuado la toma de datos se han registrado valores de la capacidad superiores a 2.000 veh-lig./hora o lo que es equivalente la relación intensidad-capacidad es mayor que 0,7.
2. La velocidad de los vehículos ligeros no desciende en estos casos del 85% de la velocidad específica.
3. La velocidad de los vehículos pesados es muy similar con estas cargas de tráfico a la de los vehículos ligeros.

Como conclusiones de este apartado podemos citar:

1. Con independencia de la velocidad específica de la vía puede adoptarse como capacidad ideal la de 2.800 veh-lig./hora-calzada.
2. Los factores de ajuste de la capacidad ideal que figuran en el HCM 85 son válidos si bien puede

Provincia	Estación	Nombre	Carretera	Día	Mes	Hora	Intensidad Total	% Pesados
11	0204	San Roque	N-340	28	11	19	3108	2.48
11	0204	San Roque	N-340	28	11	17	2605	3.69
08	0181	Nueva Sardaña	N-150	04	12	16	2592	13.85
08	0181	Nueva Sardaña	N-150	04	12	15	2516	15.18
11	0204	San Roque	N-340	28	11	18	2343	6.32
08	0181	Nueva Sardaña	N-150	04	12	17	2340	13.38
45	0016	Madridrejos	N-IV	18	08	07	2313	16.04
10	0210	Casas D. Antonio	N-630	28	10	22	2281	1.23
17	0053	Santa Cristina	C-250	21	05	19	2203	2.81
17	0053	Santa Cristina	C-250	20	02	16	2196	5.78
10	0210	Casas D. Antonio	N-630	28	10	21	2169	1.29
17	0053	Santa Cristina	C-250	26	03	18	2149	2.05
17	0053	Santa Cristina	C-250	30	04	20	2147	3.07
17	0053	Santa Cristina	C-250	26	03	19	2120	1.23
23	0195	Navas de Tolosa	N-IV	25	03	13	2109	6.64
08	0181	Nueva Sardaña	N-150	04	12	14	2093	19.64
17	0053	Santa Cristina	C-250	17	11	17	2086	18.22
17	0053	Santa Cristina	C-250	15	08	19	2086	3.60
02	0011	La Roda	N-301	16	08	12	2071	6.62
17	0053	Santa Cristina	C-250	07	05	20	2049	2.64
17	0053	Santa Cristina	C-250	13	11	18	2040	22.99
23	0195	Navas de Tolosa	N-IV	25	03	11	2039	4.22
17	0053	Santa Cristina	C-250	17	09	20	2037	2.80
17	0053	Santa Cristina	C-250	24	09	20	2035	5.60
17	0053	Santa Cristina	C-250	21	05	18	2031	1.62
17	0053	Santa Cristina	C-250	01	05	17	2028	2.37
17	0053	Santa Cristina	C-250	07	05	19	2027	2.57
17	0053	Santa Cristina	C-205	11	06	20	2019	2.13
17	0053	Santa Cristina	C-205	17	09	21	2015	4.17
17	0053	Santa Cristina	C-205	28	05	19	2014	2.23
17	0053	Santa Cristina	C-205	12	03	19	2010	2.79
17	0053	Santa Cristina	C-205	11	06	18	2006	1.30
02	0011	La Roda	N-301	16	08	13	2003	7.04



carreteras ha propiciado un incremento en la capacidad. Carretera señalizada, cortesa de Jesús Vildecantos.

Tabla 3
Estaciones secundarias con tráfico horario
(intensidad-capacidad) superior a "0,7"

Estación	Velocidad Ligeros	Velocidad Pesados	I/C
19031	87	77	0.9017
3022	57	56	0.8912
3022	55	56	0.8632
3022	58	58	0.8544
3022	56	57	0.8491
8022	75	78	0.7968
8022	76	78	0.7959
3022	59	62	0.7938
3022	57	59	0.7925
3022	55	56	0.7846
19030	75	71	0.7775
3022	57	57	0.7684
3022	55	57	0.7667
21171	65	60	0.7637
3022	57	61	0.7576
3022	61	59	0.7576
3022	57	57	0.7563
19030	71	68	0.7464
21171	67	63	0.7460
3022	57	56	0.7403
3022	57	54	0.7385
3022	56	56	0.7372
13030	68	65	0.7366
19030	77	73	0.7323
21171	66	61	0.7292
19031	78	62	0.7283
21171	68	68	0.7274
19031	77	70	0.7201
21171	70	63	0.7171
3022	60	58	0.7167
3022	59	59	0.7158
16181	86	72	0.7102
21171	64	62	0.7087
13030	71	70	0.7064
21171	70	64	0.7055
19031	77	64	0.7028
3022	58	56	0.7013
19031	79	71	0.7005

requerir un ajuste en cada país el correspondiente al factor de equivalencia de vehículos pesados.

El incremento producido en la capacidad máxima entre las dos

ediciones del manual es por tanto de un 40% lo cual viene plenamente justificado si consideramos los cambios habidos entre 1960 y 1990, que podemos sintetizar en tres puntos:

1. Variaciones en la composición del parque circulante en carretera con la práctica eliminación de vehículos con tracción animal (carros), bicicletas, ciclomotores y motor con sidecar (4).
2. Variación en las características del parque circulante con una mayor homogeneidad y unas prestaciones de potencia y aceleración lo que asegura la maniobrabilidad y el mantenimiento de un determinado régimen. (La excepción corresponde a los vehículos pesados en el caso de rampas).
3. La mejora en las condiciones de circulación consecuencia de un conjunto de factores entre los que podemos destacar:
 - Control y diseño de accesos (carriles de aceleración y desaceleración, isletas, etc.)
 - Marcas viales y señalización.
 - Segregación de tráfico.
 - Mejora de las características de trazado.

4. La velocidad de recorrido de los vehículos ligeros en función del tráfico

Uno de los objetivos básicos de este trabajo radicaba, tal y como se indicaba en la introducción, en poder cuantificar para todo tipo de carreteras de una calzada la velocidad de recorrido de los vehículos ligeros en función del tráfico.

Así como el HCM 65 era exhaustivo en el análisis de este tipo de vías, en cambio el HCM 85 se reduce básicamente a recoger una sola experiencia canadiense en una carretera de dos carriles con velocidad específica de 96 km/h. (págs. 48, 72, 272).

La campaña organizada por el Servicio de Planeamiento de la Dirección General de Carreteras del MOPU ha permitido no sólo constatar la menor incidencia del volumen de tráfico (I/C) en la pérdida de velocidad, sino la cuantificación para todo tipo de vías cuyas velocidades específicas estuvieran comprendidas entre los 60 y los 100 km/h de la relación existente entre estas dos variables.

Para ello se partió de la muestra efectuada en 21 estaciones representativas de las diversas carreteras españolas (tabla 1) procediéndose a continuación a un análisis pormenorizado de cada una de ellas.

Tal y como se indicaba en el punto 2 se ha determinado en cada estación la capacidad ideal (CE) aplicando los factores de ajuste del HCM 85. A continuación y con el flujo total de vehículos registrados en cada período horario (I), se obtiene la relación intensidad-capacidad (I/C) al dividir el flujo entre capacidad ideal. Este valor, indicador en cada hora del flujo de tráfico, se pone en correspondencia con la velocidad de los vehículos ligeros (VL).

En la tabla 4 siguiente se expone un resumen de la toma de datos efectuado.

La necesidad de una muestra tan grande obedece:

1. Para tener representadas carreteras con velocidades específicas distintas.
2. Para tener una muestra representativa de las horas con mayor tráfico (I/C > 0,5).



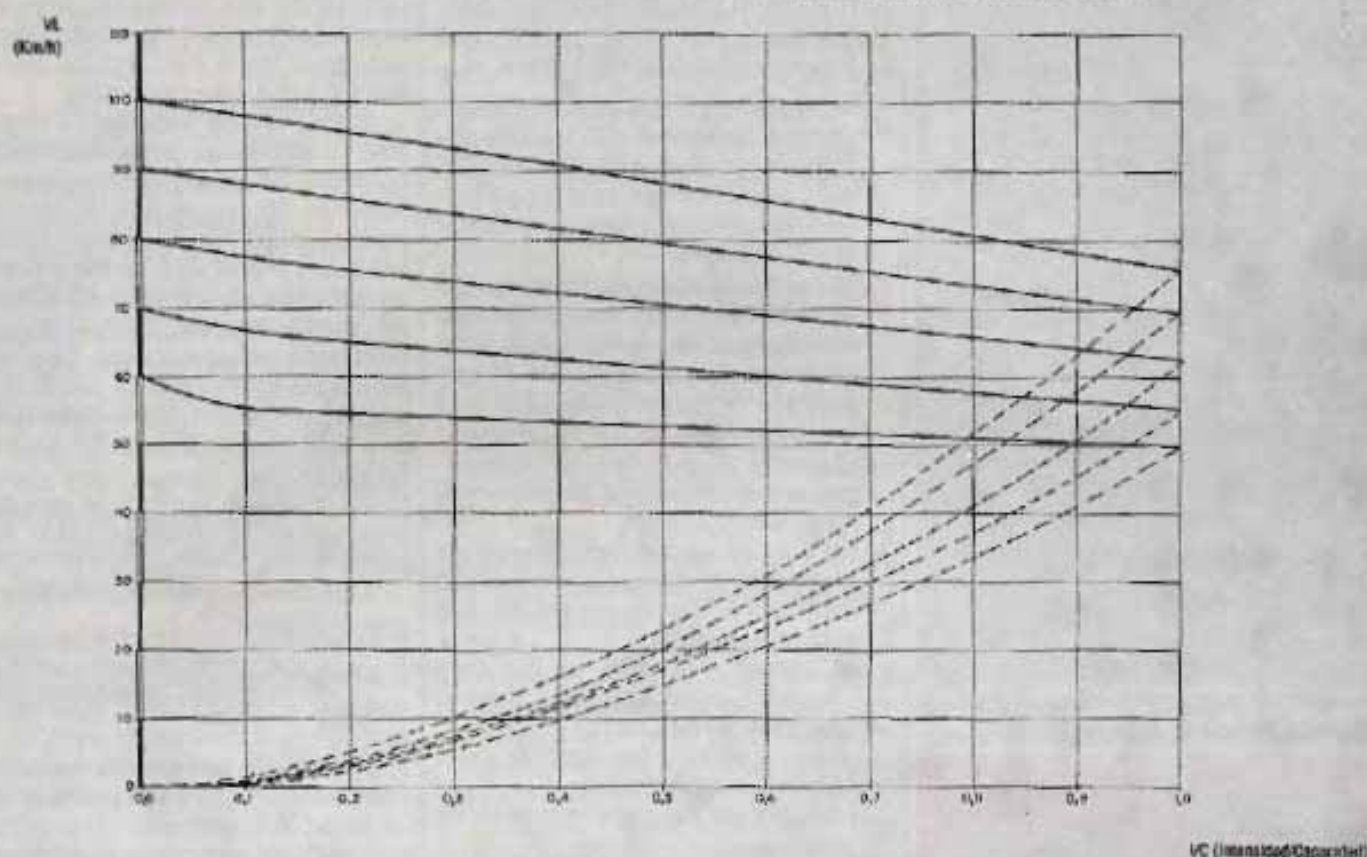
En el gráfico 3 se ha representado la distribución de la variable intensidad capacidad. En ello se observa como en el 50% de las horas el valor de I/C es inferior a 0,2 (IHM < 560 veh/hora) y en el 88% es inferior a 0,4 (IHM < 1.020 veh/hora).

La eliminación en la muestra total de los datos de 10 estaciones ha obedecido a la baja correlación existente en ellas entre la velocidad de

Tabla 4
Resumen de la toma de datos efectuada para veh/ligeros

	Muestra total	Muestra seleccionada
Nº turistas aforados	2.201.495	1.522.950 (69%)
Nº horas	4.958	3.124 (63%)
Nº estaciones	21	11 (52%)

CARRETERA DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD ESPECÍFICA DE 100 Km/h.
COMPARACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE RECORRIDO EN FUNCIÓN DEL TRÁFICO EN LA SITUACIÓN ACTUAL Y EN EL MANEJO ANTIGUO



SERVICIO DE PLANEAMIENTO M.O.P.U.

GRÁFICO 4

los vehículos ligeros y el tráfico (I/C), bien por ser una muestra reducida en cuanto a número de horas o bien por la pequeña cuantía del tráfico máximo existente en las mismas ($I/C < 0,3$) lo que impedía obtener correlaciones satisfactorias (los resultados de las correlaciones parciales figuran en la tabla 1).

Tal y como refleja la tabla 4 (ver pág. anterior), al quitar casi la mitad de las estaciones tan sólo se ha eliminado el 30% de los vehículos con lo cual se ha reducido los datos de la parte con menos tráfico donde ya existe una altísima representación.

Una vez analizadas y representadas para cada estación la velocidad de recorrido en función del tráfico se observó en todas ellas un comportamiento similar y se procedió, una vez eliminadas las estaciones no representativas, a buscar una única función polinómica que diera a conocer en cualquier carretera (definida por su velocidad específica) la velocidad de recorrido de los vehículos ligeros en función del tráfico.

Para ello se ha realizado el estudio estableciendo por un lado diversas estratificaciones de los datos según el valor de la variable I/C (0-0,4; 0,4-0,7; >0,7 y total) y por otro lado empleando funciones polinómicas del tipo

$$Z = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_n X^n + b_0 + b_1 X + \dots + b_n X^n$$

Siendo:

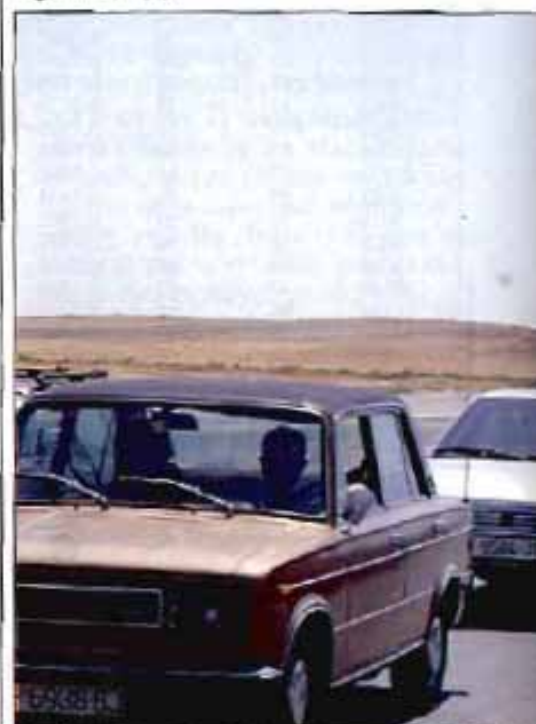
Z = Velocidad de recorrido de los vehículos ligeros

X = Tráfico horario = I/C

Y = Velocidad específica de la carretera o velocidad en régimen libre.

“**O**tra característica importante del ajuste realizado ha sido constatar y cuantificar que la pérdida de velocidad, respecto a la velocidad en régimen libre debido al efecto del tráfico es pequeña pudiendo señalarse que al llegar la congestión la velocidad se reduce entre un 16% y un 22%.”

La máxima representatividad y sencillez se ha obtenido empleando todos los datos con la función parabólica para los valores más bajos ($I/C < 0,2$) y para el resto ($I/C > 0,2$) la función lineal según las expresiones siguientes (5).



La pérdida de velocidad debido al efecto del tráfico representa la ruptura de un régimen estable. Foto 5 Rev

1. $I/C < 0,2$

$$Z = -3.2914 - 64.6562x + 105.2556x^2 + y * (1.0389 + 0.4918x - 1.1427x^2)$$

2. $I/C > 0,2$

$$Z = -15.1675 + 22.2692x + y * (1.1722 - 0.4717x)$$

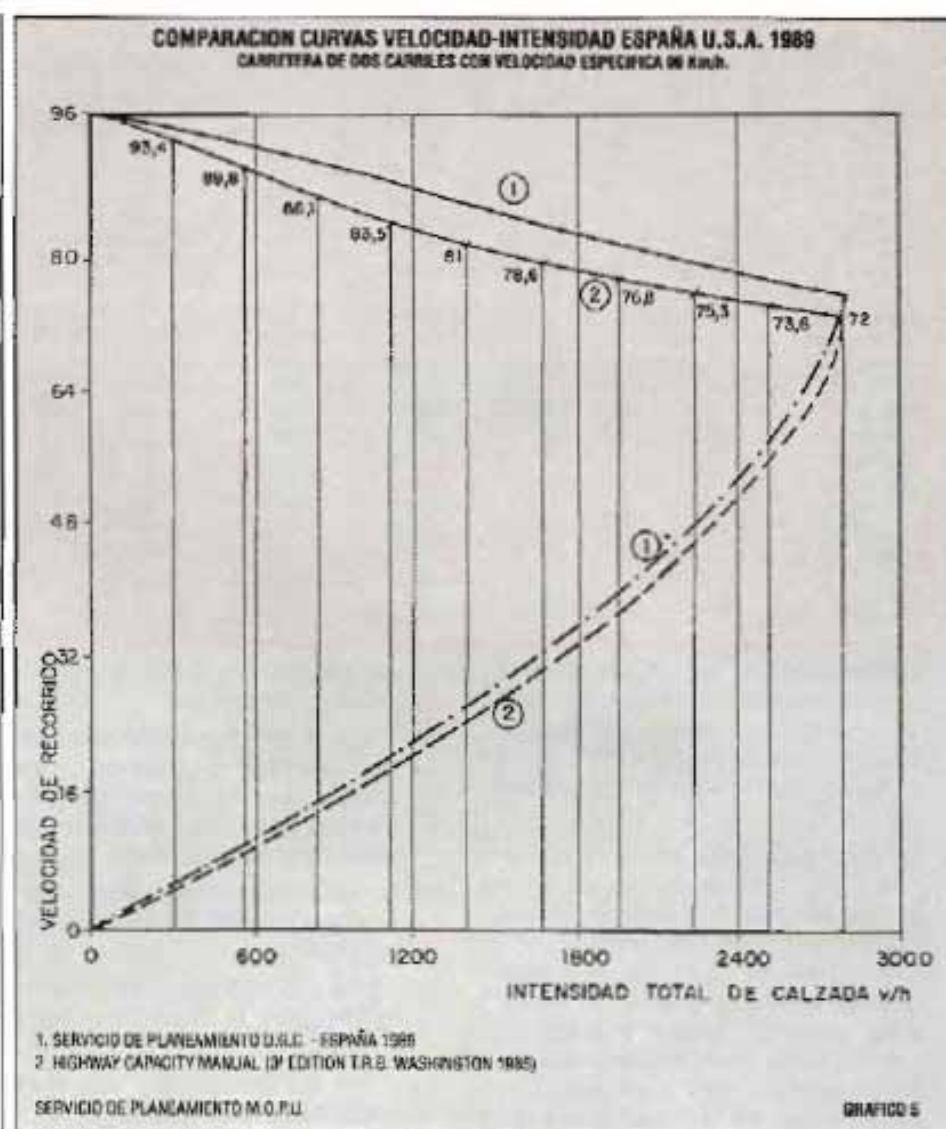
Características del ajuste

	$I/C < 0,2$	$I/C > 0,2$
Coefficiente correlación	0,8492	0,8475
Número de datos	3.124	3.124
Varianza:		
Debido a la regresión	58,639	58,639
Desviación respecto a la regresión	27,686	22,912
Desviación típica respecto a la curva de regresión	4,763	4,767
(Error estándar de la desviación)		

En el gráfico 4 se ha representado las curvas correspondientes a velocidades específicas de 100, 90, 80, 70 y 60 km/h.

Como conclusión del análisis matemático realizado podemos indicar:

1. Existe un ajuste matemático muy bueno entre la velocidad de recorrido de vehículos ligeros (VL) y el tráfico (I/C) aplicable a cualquier carretera de una calzada con dos carriles. La bondad del ajuste viene dado tanto por el coeficiente de correlación (0,85) como por la varianza explicada mediante la función de regresión (72%).
2. El error estándar de la desviación respecto a la curva de regresión (4,76 km/hora) puede considerarse bajo y permite acotar



con un 90% de probabilidades la velocidad real para un tráfico dado que es el fijado por la curva de regresión +7,8 km/h [(1.64566) caso de distribución normal].

La cifra anterior recoge la oscilación debido a aspectos tan dispares como condiciones climatológicas, período del día, motivos de viaje, antigüedad del parque, porcentaje de pesados, incidencias y sobre todo y a igualdad de condiciones externas, la diferente conducción de cada automovilista.

3. Otra característica importante del ajuste realizado ha sido constatar y cuantificar que la pérdida de velocidad, respecto a la velocidad en régimen libre debido al efecto del tráfico es pequeña pudiendo señalarse que al llegar la congestión la velocidad se reduce entre un 16% (carretera con V. específica = 60 km/h) y un 22% (carretera con velocidad específica 100 km/h).

En el gráfico 1 ya queda plasmada la diferencia cualitativa y cuantitativa entre los resultados de este estudio y el HCM 65, donde como

indicábamos, con una capacidad máxima que es el 71% de la actual, la velocidad en cambio podía disminuir un 50%.

4. Se ha comparado el único caso que indica el HCM 85, con los resultados de este estudio aplicados a una carretera de idénticas características. (Carretera con velocidad específica de 96 km/h).

En el gráfico 5 se ha representado ambas curvas apreciándose la similitud de comportamiento si bien, al margen de características del parque, conducción, etc., la experiencia canadiense recoge una experiencia aislada y el caso español es una muestra. La pequeña diferencia obedece también a lo ya indicado en el apartado 2 al comentar el desajuste existente entre velocidad temporal y espacial representativa de este tipo de vías.

En el análisis particular de cada estación los resultados presentan una ligera desviación, consecuencia de su especificidad, frente a la regresión general.



seña en carreteras de una calzada. La congestión es.

Tabla 5
Campaña de velocidades de 1988
Muestra de estaciones secundarias con mayor tráfico diario

Estación	Día	Mes	L.M.D.	Información diaria		Hora máxima		Hora mínima	
				IHM	Vm	IMH	Vm	IMH	Vm
B-0001	10	10	19416	809	68	1568	70	184	77
B-0001	11	10	19944	831	71	1598	63	221	79
B-0001	12	10	18912	788	64	1607	66	202	85
B-0001	13	10	16776	699	66	1149	64	66	78
B-0001	16	10	18384	766	65	1425	60	63	82
B-0002	12	9	18840	785	70	1258	70	69	88
B-0002	14	9	17448	727	69	1340	68	50	86
B-0002	15	9	16920	705	68	1212	67	40	84
B-0002	16	9	19032	793	69	1513	70	57	92
B-0002	17	9	20160	840	75	1482	72	183	93
B-0002	18	9	20136	839	70	1725	65	189	85
GR-0015	5	9	18840	785	82	1284	83	210	83
GR-0015	6	9	16776	699	82	1164	83	146	81
GR-0015	7	9	16752	698	81	1068	82	194	83
GR-0015	1	9	19752	823	82	1345	82	162	80
GR-0015	2	9	20952	873	82	1350	83	190	84
GR-0015	3	9	17328	722	84	1286	84	200	86
GR-0015	4	9	17856	744	84	1486	83	164	84
GR-0015	3	10	17376	724	82	1119	82	164	84
GR-0015	7	10	18504	771	81	1356	81	176	79
GR-0015	9	10	16896	704	83	1590	84	96	83

5. Las causas que han producido este mantenimiento o menor pérdida (de velocidad) en función del tráfico son las mismas que explican el aumento habido en la capacidad máxima. (Apartado 3).

6. La combinación de ambos fenómenos (incremento de capacidad y menos pérdida de velocidad) tiene una consecuencia fundamental en el funcionamiento de estas vías y es que sin apenas pérdida de velocidad pueden llegar a admitir intensidades de 30.000 veh/día.

En la tabla 5 se recoge aquellos resultados de la campaña de velocidades del año 1988 (6) donde se ha registrado mayor intensidad media diaria en carreteras de una calzada.

Como puede observarse se han obtenido valores superiores a 20.000 veh/día sin que se produzca pérdidas apreciables en la velocidad media. Figura igualmente la intensidad horaria máxima y mínima y las velocidades correspondientes a esas horas.

7. Las reprensiones favorables de lo anunciado en el punto anterior obliga a tener en consideración otros aspectos de la planificación vial siendo los dos primeros resultados directos de este estudio:

7.1. Las carreteras de una calzada funcionan en un régimen muy estable presentando una ruptura al llegar a la congestión lo que se traduce en un cambio radical y no perceptible por el conductor. En períodos anteriores, donde el HCM 65 era explicativo de la situación, la sistemática caída de velocidad

era un anuncio del punto próximo de congestión.

7.2. Dado el alto mantenimiento de la velocidad de recorrido en este tipo de vías, resulta dudosa la utilidad del nivel de servicio (ver punto 8).

7.3. Resulta prioritario en estos casos la consideración de los siguientes puntos:

- Régimen (intensidad y velocidad) en la hora 30 y hora 100.

- ¿En qué período de tiempo es admisible la congestión?

- ¿Qué soluciones desde la propia infraestructura y desde otras opciones de transporte y uso del territorio pueden darse?

7.4. Dada la gran rigidez que presentan estas vías resulta imprescindible, en casos de alta intensidad, el estudio y tratamiento homogéneo de todos los puntos del itinerario con limitación de capacidad. El arreglo de uno sólo no hace más que retrasar o adelantar el problema.

7.5. La admisión de una mayor carga de tráfico y el mantenimiento de un determinado régimen de velocidad no excluye la rentabilidad de actuaciones alternativas.

8. Existe la necesidad de reconsiderar el concepto de nivel de servicio y su medición.

Dada la dificultad práctica de emplear la demora de tiempo, introducido en el HCM 85, y dado la estabilidad en el comportamiento de estas vías parece aconsejable desechar



La velocidad de los vehículos pesados se ha incrementado. Foto 7 Revista M.O.P.U.

la velocidad de recorrido como indicador del nivel de servicio. La paradoja es obvia ya que a 75 km/h se está a punto de la congestión (nivel F) en una carretera de V. específica = 100 km/h mientras que se puede estar, por el contrario, en una carretera cuya velocidad específica sea 75 km/h circulando sin ninguna fricción debida al tráfico. ¿Cómo comparar esta situación con la anterior?

Parece aconsejable desestimar el uso del nivel de servicio en este tipo de vías desdoblándolo en los dos elementos que realmente quiere significar: La velocidad específica (oferta) y la relación U/C (demanda). (7)

“**E**n terreno llano y ondulado cuando la velocidad de vehículos ligeros es inferior a 59 km/h (debido al efecto del tráfico y en el límite la congestión) la velocidad de vehículos pesados es igual a la de vehículos ligeros.”

5. Velocidad de vehículos pesados



Carreteras en 13 km/h desde el año 1970. Foto 5 Revista

El nuevo manual HCM 85 no hace distinciones, salvo en el caso de rampas, entre las velocidades de vehículos ligeros y pesados.

El estudio presente ha permitido cuantificar para carreteras con velocidad específica superior a 60 km/h y en terreno ondulado o llano, el valor de la velocidad de los vehículos pesados en función de la de vehículos ligeros.

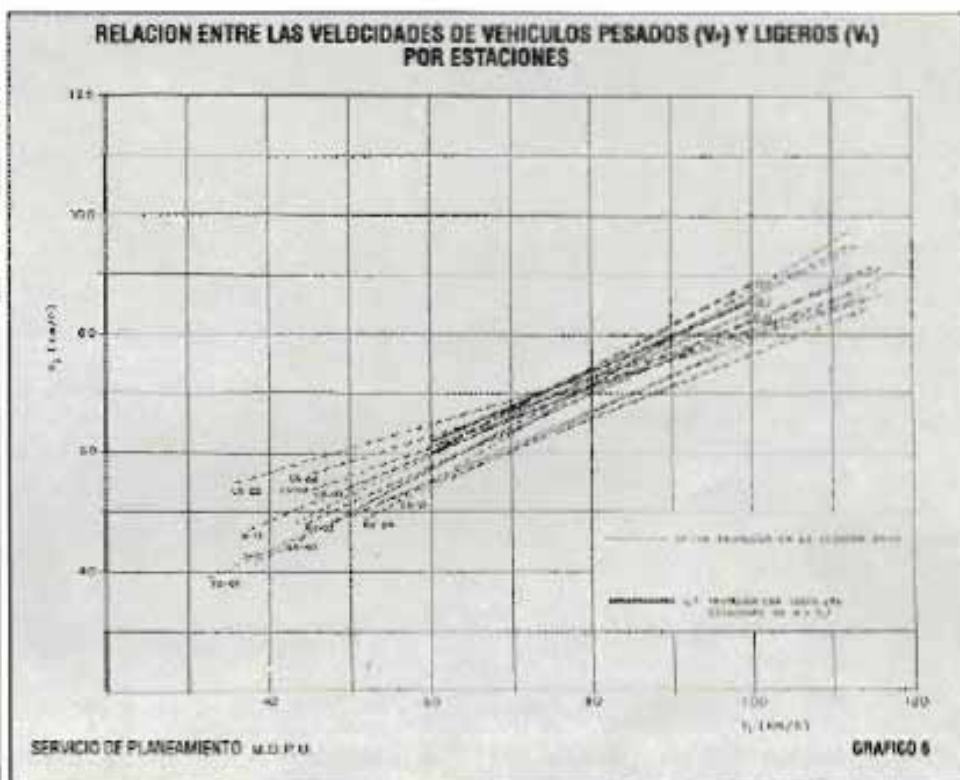
Para ello se ha partido del estudio encuesta general, ya explicado en los apartados 2 y 4, analizándose en primer lugar el resultado de las regresiones lineales entre la velocidad de vehículos ligeros y pesados.

Los coeficientes de correlación figuran en la tabla 1 y la represen-

Tabla 6
Características y resultados de la relación velocidad de vehículos ligeros/
Velocidad de pesados según distintas muestras

Coef. correlación de cada muestra	>0.7	>0.65	>0.6	>0.5	>0.4
Nº de estaciones	4	5	6	10	12
Nº de datos	1093	1356	1433	2440	3094
Coef. correlación	0.813	0.810	0.722	0.674	0.586
Varianza explicada	66.2%	65.7%	52.1%	45.4%	34.4%
Error Estándar (Desviación típica respecto a la regresión)	2.71	3.99	4.04	4.32	4.8
V_p para $V_L = 60$ km/h	61.1	59.5	59.3	59.9	60
V_p para $V_L = 100$ km/h	82.1	82.2	82.8	80.7	79.1

(V_p = Velocidad de pesados y V_L = Velocidad de ligeros).



tación de las rectas con coeficiente superior a 0.4 figura en el gráfico 6 así como las rectas correspondientes a las correlaciones obtenidas con todas aquellas estaciones con coeficientes de correlación superior a 0.5, 0.6 y 0.7 respectivamente.

En la tabla 6 se recoge los resultados y características de la muestra según el número de estaciones seleccionadas, que ha sido en base a los coeficientes de correlación.

Como conclusiones del estudio podemos citar las siguientes:

1. La velocidad de los vehículos pesados en cada una de las estaciones presenta una diferencia máxima que está comprendida entre 5 km/h (para $V_L = 60$ km/h) y 8 km/h (para $V_L = 100$ km/h).
2. El análisis global, juntando estaciones, da un comportamiento similar con unas diferencias mínimas en todas las regresiones efectuadas.
3. Para carreteras con velocidad específica superior a 60 km/h, en zona que no sea de rampa, y con

velocidad de vehículos ligeros superior a 59 km/h, se puede emplear cualquiera de las regresiones finales obtenidas.

Como referencia adoptaremos la correspondiente a todas las estaciones con correlación parcial superior a 0.5.

4. En terreno llano y ondulado cuando la velocidad de vehículos ligeros es inferior a 59 km/h (debido al efecto del tráfico y en el límite la congestión) la velocidad de vehículos pesados es igual a la de vehículos ligeros.
5. En terreno accidentado o rampas se empleará la correlación obtenida en el año 1977 por el autor de este artículo en la evaluación de la mejora del nivel de Servicio en el paso de Despeñaperros. (7)
6. Ha existido un incremento notable en la velocidad de los vehículos pesados entre los años 1970 y 1990 que puede cifrarse, para cualquier velocidad de vehículos ligeros superior a 60 km/h, en 13 km/h.

RELACION ENTRE LAS VELOCIDADES DE VEHICULOS PESADOS (V_p) Y LIGEROS (V_L)

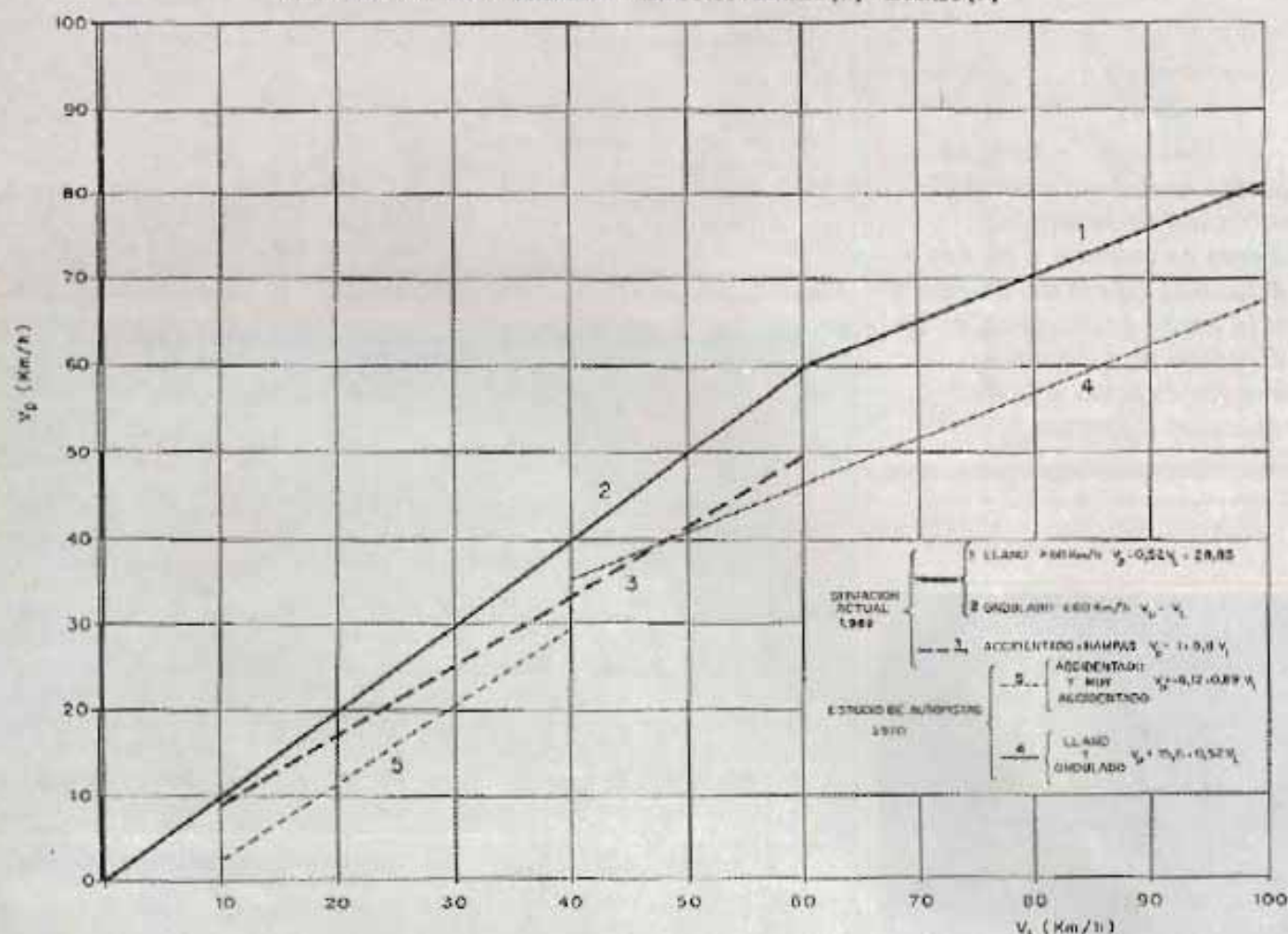


GRÁFICO 7

En el gráfico 7 se ha dibujado la situación actual y la considerada hasta el momento presente como representativa.

7. En terreno llano y ondulado las pendientes del estudio actual y del estudio del año 1970 han salido coincidentes (0,52).
8. La dispersión en el valor de la velocidad (Error Estandar= 4 km/h) obedece tanto a las carac-

terísticas de la oferta (tipo de terreno y geometría) como a los distintos tipos y carga de vehículos pesados.

Las relaciones matemáticas a emplear son las siguientes:

Terreno llano y ondulado

$$V_L > 60 \text{ km/h} \\ V_p = 0,52 V_L + 28,85 \\ V_L < 60 \text{ km/h} \\ V_p = V_L$$

Terreno accidentado

$$V_p = 0,8 V_L + 1$$

Siendo:

V_p = Velocidad de veh/pesados en km/h

V_L = Velocidad de veh/ligeros en km/h.

- (1) En la realización de este trabajo han intervenido, junto al autor de este artículo, Javier Guillén, Ignacio Gómez Campillo y Angel Jimenez Torres (Servicio de Datos Básicos -Dirección General de Carreteras-M.O.P.U.), que han obtenido y preparado la información básica, y Matilde Dueñas, Francisco González Gullón, Sebastián Hernández, Luis Silva y M^a Angeles Garfía, (Servicio de Planeamiento -Dirección General de Carreteras-M.O.P.U.) que han realizado el tratamiento informático, definición y mecanografiado del mismo.
- (2) Dadas las constantes referencias en este trabajo a esta nueva edición del Manual de Capacidad de Carreteras ("Highway Capacity Manual" Special Report 209, Transportation Research Board National Research Council, Washington, D.C., 1985)

nos referiremos a él como H.C.M. 1985 empleando la versión española del año 1987 publicada por el Comité Español de la A.I.P.C.R. en colaboración con la Dirección General de Carreteras. En cuanto a la 2ª edición emplearemos la versión original y la denominaremos en lo sucesivo como H.C.M. 1965.

- (3) Juan Gardeta Oliveros "Carreteras de dos carriles. Capacidad y niveles de servicio" Revista Carreteras N° 11 Marzo-Abril 1984.
- (4) En el año 1960 el parque de motos constituía el 55,2% del parque total y su función básica era de transporte (personas y mercancías). En el año 1988 el porcentaje de motos se ha reducido al 6,4% teniendo en cambio gran importancia el uso deportivo de la misma. (Fuente: Anuarios Estadísticos de la Dirección General de Tráfico).

- (5) El valor $1/C = 0,2$ corresponde aproximadamente a la intersección del polinomio del 2º y 3º grado, cuyos valores se pueden obtener exactamente como resolución de la ecuación de segundo grado en X igualando las dos expresiones de la velocidad de recorrido.
- (6) Servicio de Datos Básicos. Estudio no publicado.
- (7) En la elaboración del Plan General de Carreteras 1984/1991 y aún aplicando el HCM 65 se hizo una primera división de las carreteras según fueran de alta o baja intensidad ($TMD < 5000$ vehículos). En estas últimas no se calculó el nivel de servicio puesto que los problemas de las mismas sólo podrían obedecer a una baja calidad de la oferta.
- (8) MOP Proyecto del Presupuesto por Programas. Anexo VI Año 1979.