

EL FUNCIONAMIENTO DE LA CALZADA BUS-VAO DE LA N-VI TRAS DOS AÑOS DE EXPERIENCIA

Jesús Díez de Ulzurrun.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Subdirector General Adjunto de Seguridad Vial.

RESUMEN

Las constantes demoras y los elevados tiempos de recorrido que se venían produciendo por el acceso a Madrid a través de la N-IV, unidos a los importantes desequilibrios de la demanda que hacían que los problemas de tráfico en el acceso fueran totalmente recurrentes, fue lo que originó la construcción de la calzada BUS-VAO y su sistema automático de gestión. En el artículo se recoge la experiencia que se ha tenido tras dos años de explotación del sistema.

ABSTRACT

The delays caused by the too frequent traffic jams on the N-IV access to Madrid made it necessary to construct the BUS-VAO traffic lane with automatic regulation. The experience of two years of operation of this system are outlined in this article.

1. ANTECEDENTES

A lo largo de los últimos años se ha producido en España un crecimiento espectacular de la población y, lo que es más importante, del nivel de vida y del parque de vehículos asociados al mismo. Entre las zonas más afectadas por este crecimiento se encuentra el Corredor Noroeste de Madrid, compuesto por numerosos municipios cuya estructura socio-urbanística ha cambiado radicalmente en muy poco tiempo. De hecho la población de todo el área presenta un comportamiento típico de las zonas puramente residenciales: Utiliza la vivienda principalmente como dormitorio y se

desplaza a la capital para realizar su trabajo o estudiar.

La carretera N-VI, que da servicio al corredor, soporta una demanda de tráfico que ha ido aumentando de forma paralela al crecimiento urbano antes mencionado. Dicha demanda llegó a desbordar con creces la capacidad de la vía, produciendo constantes congestiones y elevados tiempos de recorrido en la movilidad de sus usuarios. Ante esta situación en Ministerio de Fomento y la Dirección General de Tráfico afrontaron, a principios de la década actual, y junto con otras instituciones de la Comunidad, un ambicioso proyecto para la remodelación del tramo de la N-VI

Redacción de la ROP
antes del 30 de
septiembre de 1997.

Recibido en ROP:
junio de 1997

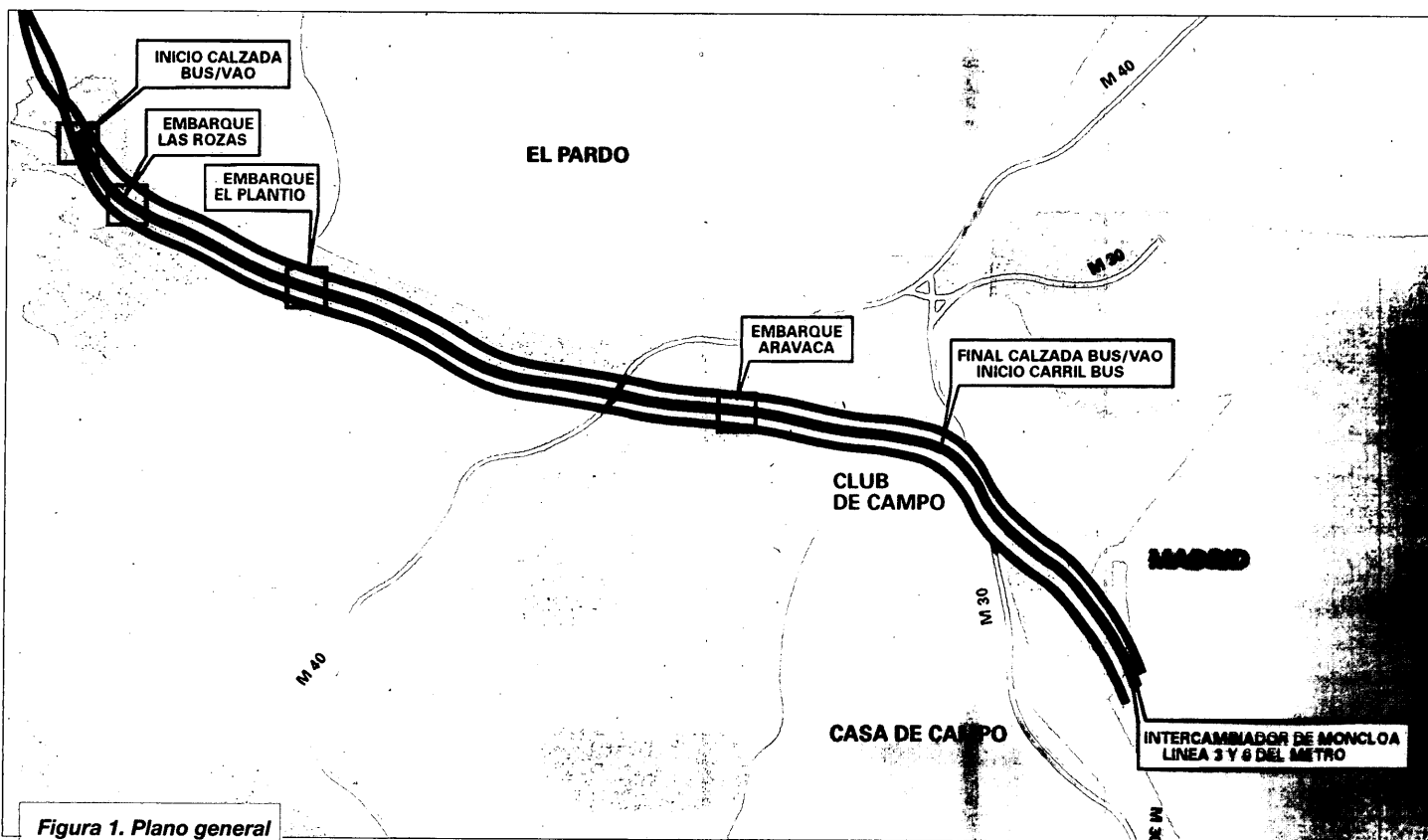


Figura 1. Plano general

comprendido entre Madrid y Villalba. Una de las características más destacable de la cual, desde el punto de vista operativo, es la creación de una calzada central reversible dedicada a la circulación de autobuses (BUS) y vehículos de alta ocupación (VAO, con dos o más ocupantes) entre Madrid y Las Rozas.

Sin embargo este proyecto no puede considerarse como una operación aislada, sino enmarcado dentro de un ambicioso programa que contempla muy diversas actuaciones sobre el entramado viario de Madrid y su área metropolitana. De entre ellas cabe destacar, por su estrecha vinculación con la problemática de la N-VI, el Cierre de la Autovía de Circunvalación M-40 (gestionada globalmente desde el Centro de Control de la DGT y localmente mediante el Sistema de los Túneles de El Pardo) y el Intercambiador Multimodal de La Moncloa (que da servicio a la mayoría de los autobuses urbanos e interurbanos vinculados al corredor, conectándolos con el Metro).

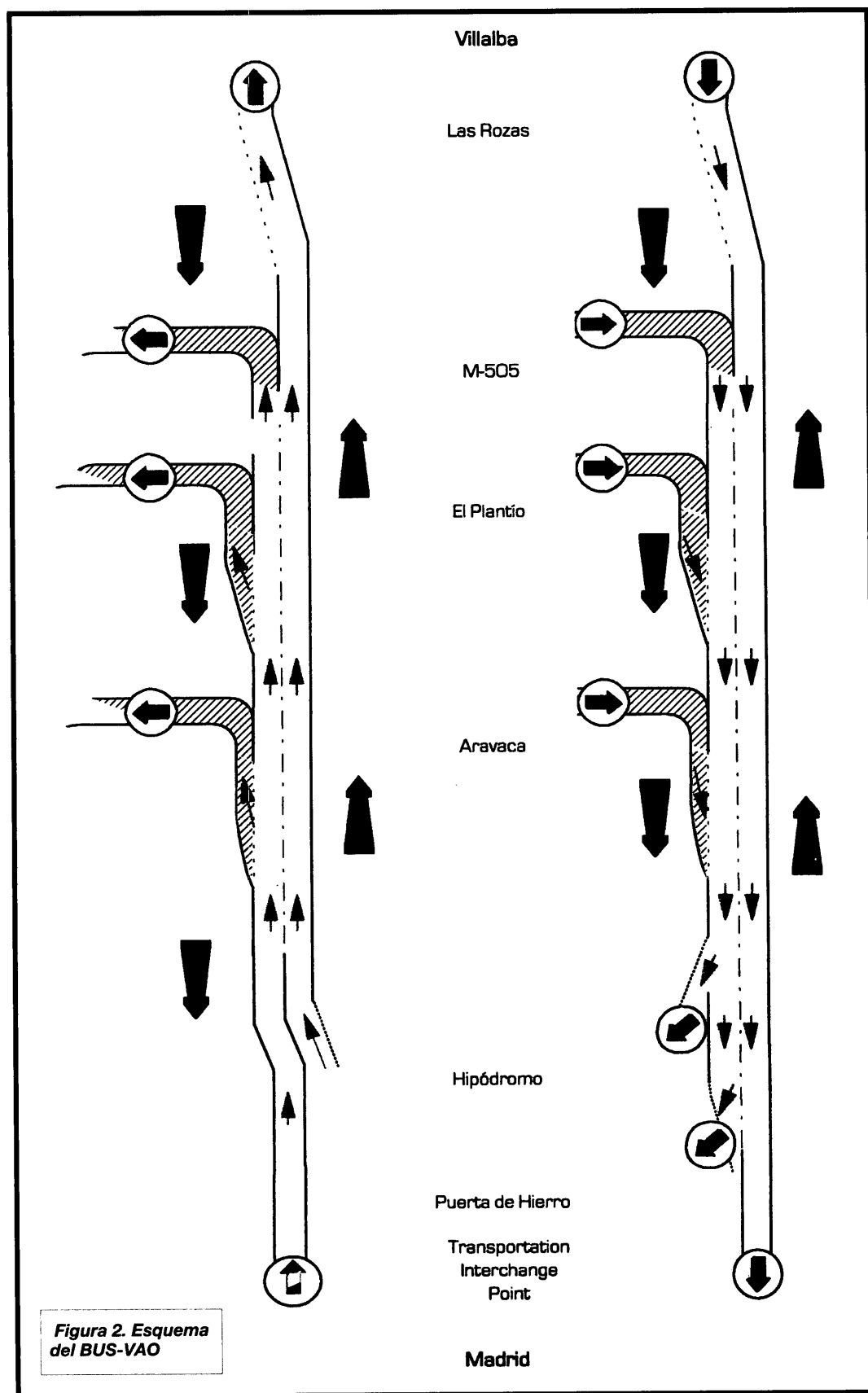
2. CARACTERÍSTICAS DE LA CALZADA BUS-VAO

El 26 de Junio de 1995 se puso en servicio la calzada BUS-VAO de la carretera N-VI, que consta de dos tramos principales:

- ▼ el que va desde el Intercambiador de Moncloa hasta el enlace de Puerta de Hierro, que dispone de un solo carril de circulación exclusivo para autobuses
- ▼ el que une Puerta de Hierro con Las Rozas (enlace con la carretera M-505), que dispone de dos carriles de circulación para autobuses y vehículos particulares ocupados por dos o más viajeros.

Además existen dos ramales laterales de embarque intermedios que permiten el acceso a las poblaciones de Aravaca (reservado exclusivamente a autobuses) y El Plantío, y un ramal de entrada/salida de un único carril desde/hacia la N-VI/Villalba. Finalmente la incorporación desde Madrid se realiza mediante un ramal de transferencia ubicado en el nudo de Puerta de Hierro, y la salida de la calzada BUS-VAO, en este mismo lugar, se realiza a través de dos tramos de trenzado consecutivos que desembocan en la N-VI/Madrid.

El sentido de circulación dentro de la calzada BUS-VAO es reversible y se adapta a las circunstancias de la demanda del tráfico predominante en cada momento. De forma genérica durante los días laborables el sentido circulatorio es de entrada a Madrid por la mañana y de salida por la tarde (las excepciones más frecuentes están relacionadas con vigiliias y fines de semana conflictivos). El funcionamiento en sábados, domingos y festivos suele ser el contrario al anterior, si bien hay



que tener en cuenta las singularidades de cada caso (operaciones salida/retorno, festividades especiales, etc.). Para terminar hay que añadir que la Calzada funciona solamente durante las horas en que la congestión del tronco principal de la carretera N-VI así lo exige, de modo que durante las horas valle se cierra a la circulación para reducir al máximo cualquier tipo de conflicto asociado a las maniobras de incorporación/abandono de la misma.

3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

De lo anterior se desprende que para gestionar el funcionamiento de la calzada BUS-VAO es necesario disponer de un sofisticado sistema de señalización y control que permita llevar a cabo las operaciones de apertura de la misma (en uno u otro sentido de circulación) y cierre, bajo condiciones de máxima seguridad y eficiencia. Es por ello que se instaló un sistema de la más moderna tecnología, compuesto básicamente por:

- ▼ Paneles de información variable multicolores con tecnología de LED's, para información a los conductores acerca del estado de funcionamiento de la Calzada y, en consecuencia, de las maniobras permitidas o prohibidas en cada caso.
- ▼ Elementos de seguridad para el cierre/apertura de los ramales de enlace (barreras móviles, balizas luminosas, semáforos de control de acceso).
- ▼ Sistema de vigilancia del tráfico mediante cámaras



Figura 3. Embarque.

de vídeo formando un circuito cerrado de televisión que permiten la visualización, desde el Centro de Control de la DGT, de cuanto ocurre a lo largo de la Calzada.

▼ Estaciones para la medición de datos del tráfico a lo largo de toda la carretera para la ayuda en la toma de decisiones por parte de los operadores a cargo de la gestión del sistema.

▼ Equipos electrónicos para el control de todos los elementos anteriores y la comunicación de datos, imágenes y órdenes hacia desde el Centro de Control, en tiempo real.

Figura 4. Panel.



▼ Sistema informático (hardware y software dedicados) para la gestión de todo el conjunto, ubicado en la Dirección General de Tráfico.

4. RESULTADOS DE LA EXPLOTACIÓN

Desde su inmediata puesta en marcha, la calzada BUS-VAO fue aceptada muy positivamente por parte de la mayoría de sus potenciales usuarios, una vez salvadas las lógicas reticencias iniciales (sobre todo en lo que se refiere a la restricción impuesta a la ocupación de los VAO) y aceptados algunos inconvenientes operativos de menor trascendencia (p.e. la eliminación de la parada de autobuses en la Glorieta del Cardenal Cisneros). De hecho los resultados cuantitativos de las primeras evaluaciones, llevadas a cabo en Enero y Mayo de 1995, arrojaron conclusiones como las siguientes:

▼ el tiempo de recorrido en hora punta de la mañana desde Las Rozas hasta Puerta de Hierro se reduce aproximadamente en 20 minutos (más del 40 %)

▼ la proporción de viajes que se realizan mediante en BUS-VAO se sitúa en una media del 8,5% en días laborales, llegando hasta el 15,1% en viernes por la tarde (operación salida)

▼ la ocupación media de los VAO se sitúa en 2,4 viajeros (en el resto de la carretera es de 1,3) y la de los BUS alcanza los 42 usuarios.

En la Tabla 1 se recogen los datos resumidos correspondientes a la campaña de aforos realizada durante los pasados meses de Marzo y Abril de 1997.

Para poder valorar el alcance de los resultados anteriores es necesario relativizarlos con respecto a la capacidad de la calzada BUS-VAO, dadas sus singulares características. Hay que tener en cuenta que, si bien se trata de un tramo vial con características de trazado de autopista con uno o dos carriles, los condicionantes físicos que delimitan el número máximo de vehículos que pueden utilizar la Calzada son los ramales de entrada/salida críticos de la misma. Por otro lado hay que considerar, además, que no existe simetría entre la operativa bajo condiciones de entrada y salida. Es por ello que se realiza el siguiente ejercicio.

5. CAPACIDAD EFECTIVA DE LA CALZADA

5.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL TRAMO INICIAL

El tramo inicial entre Moncloa y Puerta de Hierro está destinado exclusivamente a autobuses y es de un sólo carril. Los elementos a tener en cuenta, para calcular su capacidad, son:

1. la pendiente de las rampas de acceso al Intercambiador de Moncloa
2. la existencia de mediana de hormigón a ambos lados del carril y la anchura de sus arcones
3. la presencia del semáforo que regula el cruce de Moncloa
4. la velocidad media a la que circulan los autobuses en entorno urbano

Con todo ello, teniendo en cuenta las recomendaciones del Manual de Capacidad de Carreteras (TRB-AIPCR 1995) se llega a la conclusión de que la frecuencia máxima de autobuses que puede soportar el carril, en condiciones de flujo libre, es de 4,5 vehículos/hora. Lo cual equivale a:

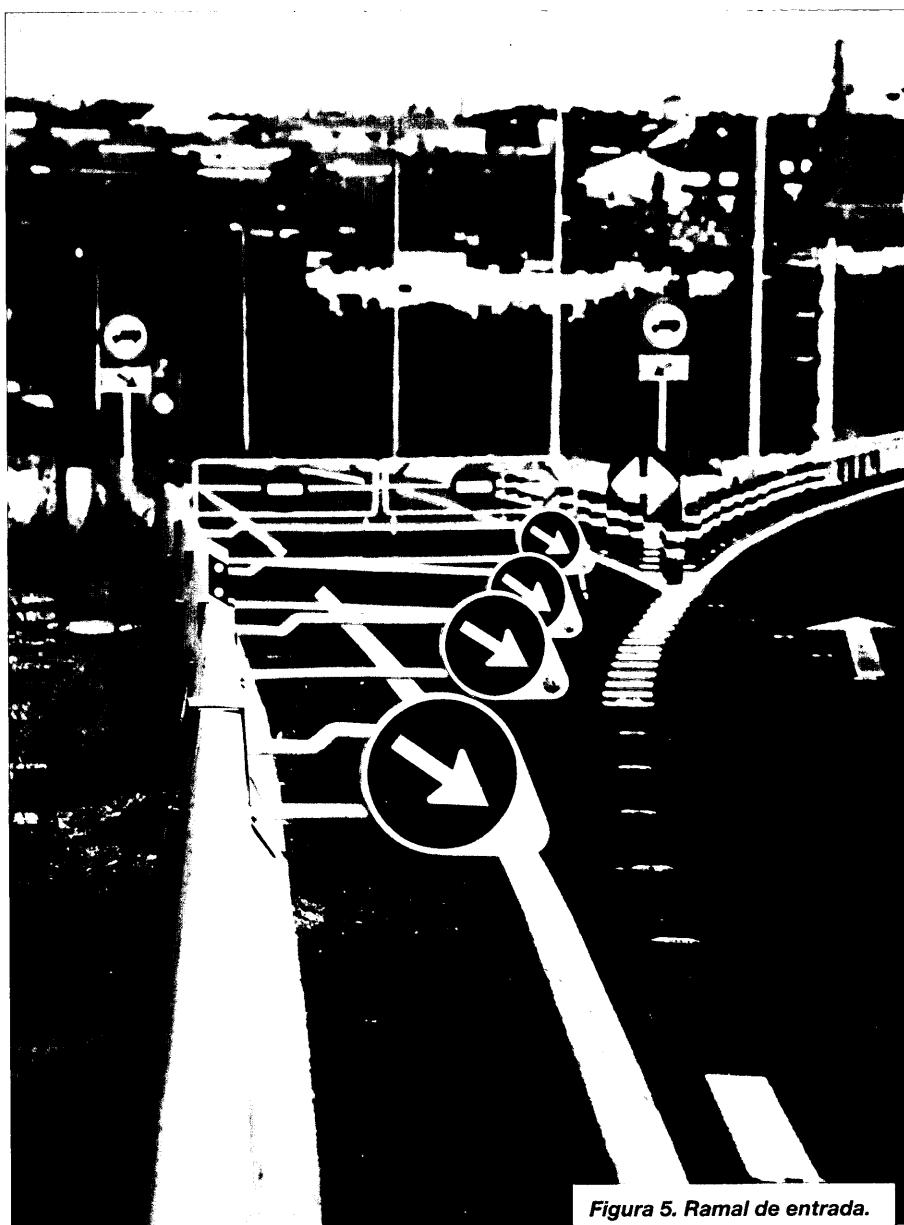


Figura 5. Ramal de entrada.

▼ 270 vehículos/hora, sin restricción semafórica (situación de entrada)

▼ 205 vehículos/hora, teniendo en cuenta el semáforo (situación de salida)

5.2. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD EN CONDICIONES DE SALIDA

Cuando la Calzada está funcionando en sentido circulatorio de salida de Madrid, solamente recibe alimentación a través del tramo inicial de autobuses (analizado antes) y del ramal de entrada situado en el nudo de puerta de Hierro. Por lo tanto la capacidad efectiva de toda la vía es la que tiene este ramal.

TABLA 1

HORA	Moncloa				Aravaca				Tronco Aravaca				Puerta de Hierro			
	LAB	VIE	SAB	DOM	LAB	VIE	SAB	DOM	LAB	VIE	SAB	DOM	LAB	VIE	SAB	DOM
8	108	113	0	0	28	25	0	0	1662	1600	0	0	1689	1625	0	0
9	97	103	0	0	24	24	0	0	1950	1804	0	0	1974	1828	0	0
10	81	89	2	3	26	26	2	0	1369	1025	230	143	1394	1051	232	143
11	52	62	10	5	19	18	0	0	540	497	843	397	559	515	843	397
12	27	26	7	5	8	6	0	0	250	195	1283	840	258	201	1283	840
13	3	0	10	9	1	0	1	0	41	0	1505	1045	42	0	1506	1045
14	4	1	11	4	1	0	0	0	52	172	1671	1093	52	172	1671	1093
15	29	32	11	0	0	0	0	0	517	1646	1713	101	517	1646	1713	101
16	33	42	2	0	0	1	0	0	558	1884	250	0	558	1885	250	0
17	29	37	0	6	13	14	0	0	382	1174	0	503	395	1188	0	503
18	42	49	1	6	15	19	0	0	525	1454	183	1233	539	1473	183	1233
19	58	64	15	17	14	17	0	0	739	1856	803	1937	753	1873	803	1937
20	54	62	9	17	15	17	1	0	935	2003	965	2180	950	2020	966	2180
21	57	65	9	18	12	14	0	4	1091	2091	1357	1980	1103	2105	1357	1984
22	37	39	10	13	3	3	0	1	882	1777	1434	1769	885	1780	1434	1770

HORA	El Plantío				Las Rozas				Villalba				Las Rozas (tronco)			
	LAB	VIE	SAB	DOM	LAB	VIE	SAB	DOM	LAB	VIE	SAB	DOM	LAB	VIE	SAB	DOM
8	210	316	0	0	744	707	0	0	875	839	0	0	1619	1546	0	0
9	235	349	0	0	704	655	0	0	789	750	0	0	1494	1405	0	0
10	164	164	30	24	375	356	69	35	491	444	146	87	866	800	215	122
11	94	105	104	50	142	144	225	111	247	193	549	258	388	337	774	369
12	54	39	184	115	51	38	349	244	123	74	798	506	173	112	1147	750
13	22	0	266	225	7	0	477	283	20	0	826	580	27	0	1303	863
14	80	52	373	291	25	82	575	350	21	73	833	509	46	155	1408	859
15	229	510	480	33	214	711	589	22	170	529	734	27	384	1240	1323	49
16	170	514	71	0	203	777	79	0	226	688	103	0	429	1465	182	0
17	152	331	0	122	133	402	0	112	153	519	0	364	286	921	0	476
18	245	309	62	235	183	517	55	222	217	671	134	775	400	1188	189	997
19	258	473	204	287	284	594	163	335	306	804	408	1276	589	1398	571	1611
20	318	403	160	232	347	647	173	351	385	845	549	1404	732	1492	722	1755
21	297	421	277	204	414	679	233	345	431	812	818	1246	845	1491	1051	1591
22	277	409	289	225	331	614	268	349	331	733	692	1149	662	1347	960	1498

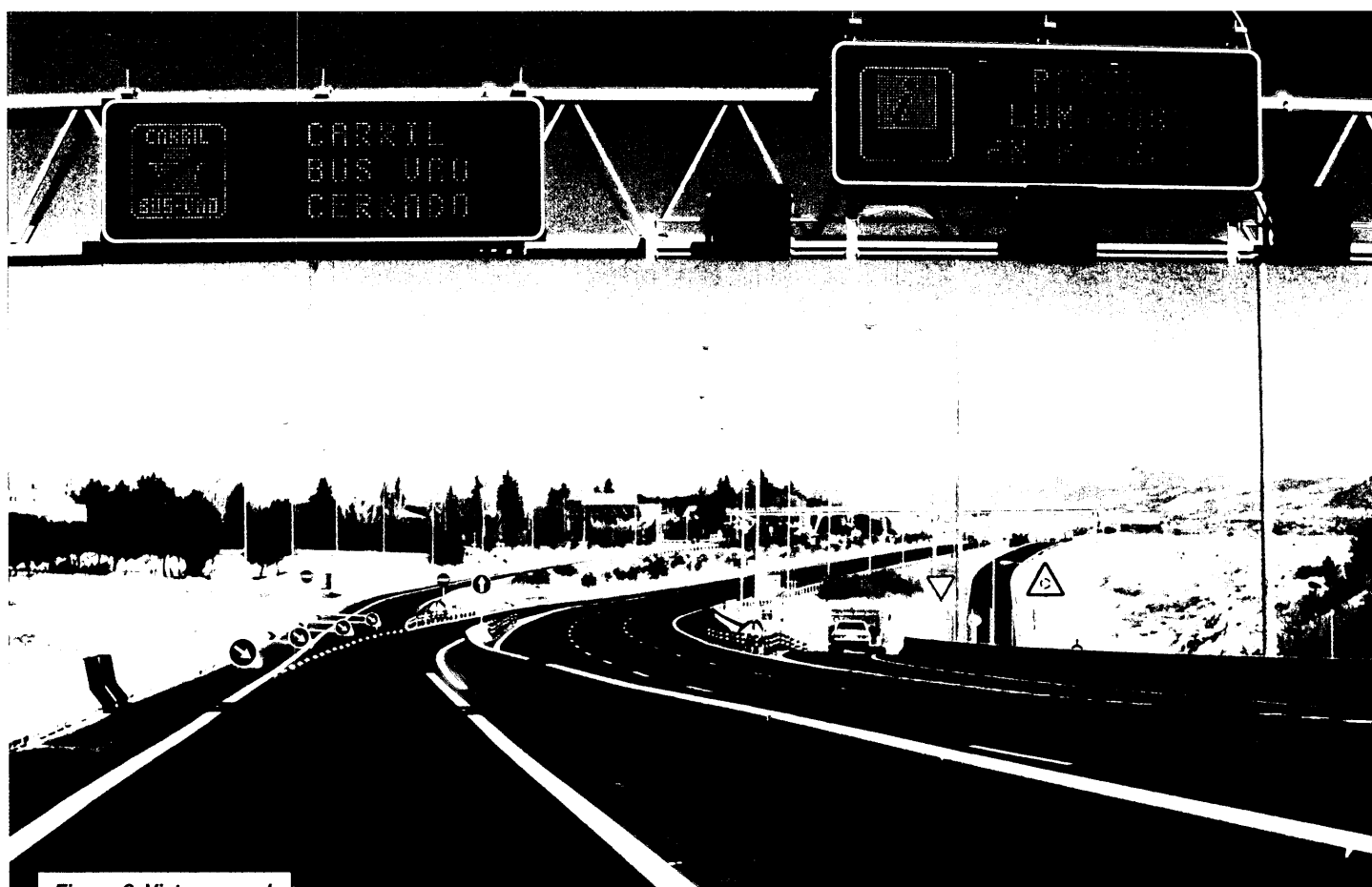


Figura 6. Vista general.

Para llevar a cabo el cálculo de la capacidad en estas condiciones hay que tener en cuenta, de acuerdo con el Manual, los siguientes elementos:

1. la capacidad de un carril de autopista de 4 carriles, en condiciones de flujo libre es de 2200 v/h
2. existen obstáculos laterales a ambos lados en el ramal de entrada, así como restricción de la velocidad máxima
3. las condiciones del terreno son de tipo ondulado, al haber pendientes moderadas y curvas de gran radio
4. los conductores, en ocasiones de operaciones especiales, no son usuarios habituales, si bien la gran mayoría conocen el funcionamiento del sistema

Con todo ello se llega a la conclusión de que la capacidad efectiva, en términos de VAO's es de

$$2200 \times 0.818 = 1800 \text{ vehículos/hora}$$

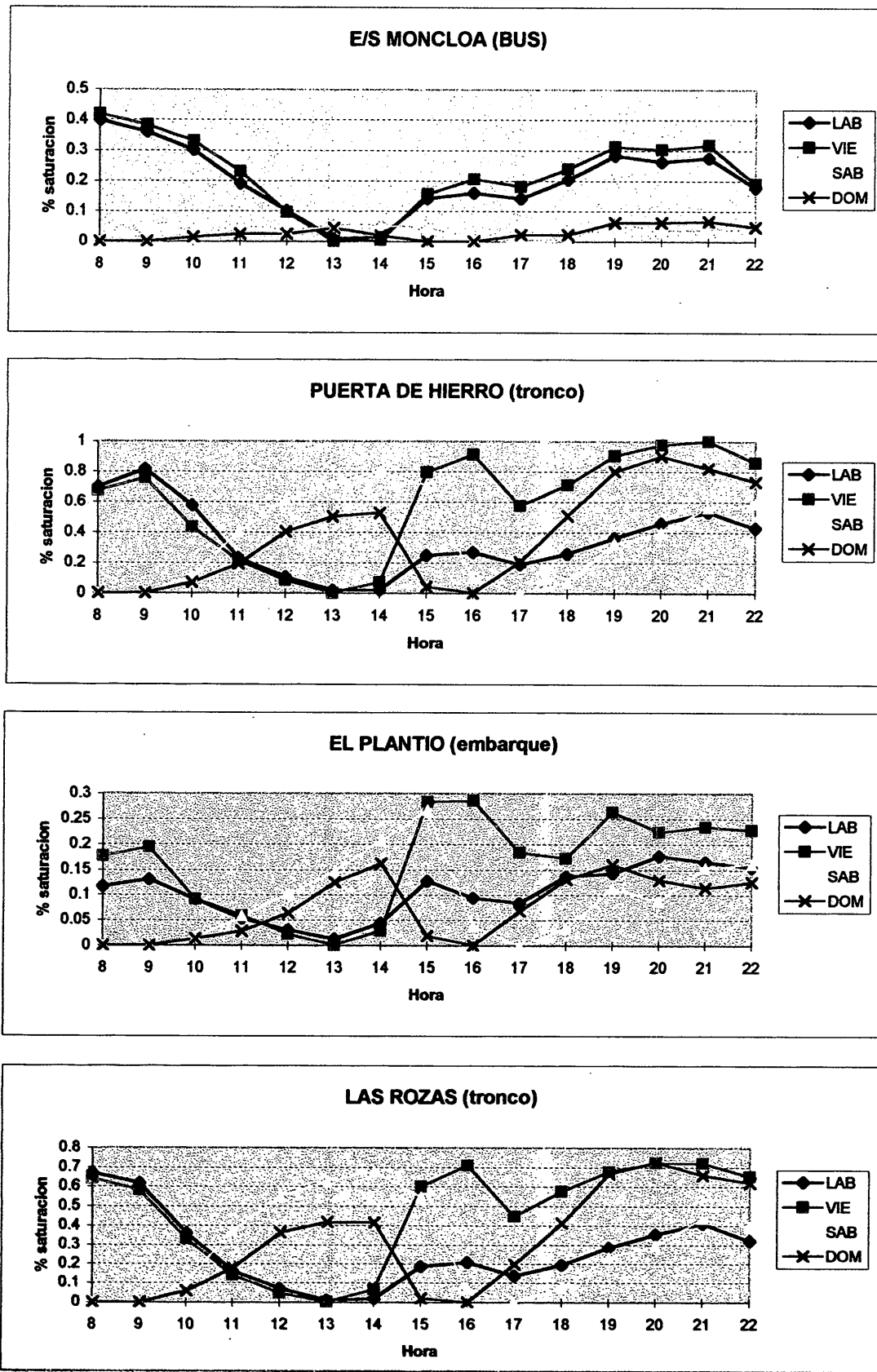
de modo que, teniendo en cuenta el apartado 5.1, se obtiene un resultado final de

$$1800 + 270 = 2070 \text{ vehículos totales/hora (aforo medible)}$$

Figura 7. Embarque para autobuses en Moncloa.



Figura 8. Niveles de saturación.



5.3. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD EN CONDICIONES DE ENTRADA

En este caso, a diferencia el anterior, es evidente que el elemento crítico de toda la Calzada son los ramales consecutivos de descarga hacia el tronco principal de la N-VI en Puerta de Hierro. Para llevar a cabo los cálculos hay que tener en cuenta que:

1. los vehículos vienen circulando, en principio, en flujo libre con dos carriles bajo condiciones de obstáculos laterales y terreno ondulado
2. la presencia de autobuses es muy importante y su equivalente en vehículos ligeros, por unidad, es de 3
3. los tramos de trenzado de incorporación al tronco de la N-VI están situados en la zona izquierda de la calzada

Con lo que se llega a que la capacidad, en términos de vehículos ligeros, es de

$$(1800 \times 2 - 270 \times 3) \times 0,77 = 2150$$

de modo que la capacidad efectiva de toda la Calzada es de

$$2150 + 270 = 2420 \text{ vehículos totales/hora (aforo medible)}$$

Como puede observarse, este resultado es sensiblemente distinto y mayor que el obtenido en el apartado anterior. Lo cual tiene sentido una vez analizadas las condiciones operativas reales del sistema y pone en evidencia hasta qué punto los imperativos del diseño funcional de una carretera influyen de forma efectiva en su explotación (hecho a tener en cuenta a la hora de proceder a proyectar nuevas actuaciones como la presente).

6. CONCLUSIONES OPERATIVAS

Aplicando los resultados obtenidos en los apartados 5.2 y 5.3 a los datos del apartado 4, se obtienen los gráficos que se adjuntan (1.9.8). Corresponden a los niveles de saturación de las cuatro secciones que se consideran como más representativas de la Calzada, es decir:

- ▼ el ramal de entrada/salida al Intercambiador de Moncloa (sólo BUS)
- ▼ el tronco principal de la Calzada a la altura de Puerta de Hierro (considerando vehículos totales, BUS-VAO)
- ▼ el embarque de El Plantío (como ejemplo de uno de ellos)

- ▼ el tronco principal de la Calzada en Las Rozas (suma del embarque y del ramal de Villalba).

Teniendo en cuenta que una vía como esta, cuya velocidad a flujo libre está entre 90 y 110 km/h, se considera que opera en su nivel de servicio óptimo (en términos del Manual, nivel D) cuando la relación I/C está entre 0,79 y 0,83, se llega a las siguientes conclusiones:

1.- Los ramales exclusivos par BUS están lejos de la saturación a lo largo de toda la semana. lo cual proporciona un importante potencial de reserva para seguir insistiendo en la política de uso de este modo de transporte por parte de los usuarios aún no convencidos.

2.- En días laborables, la hora punta se concentra claramente entre las 7 y las 9 de la mañana (téngase en cuenta que la hora en que se dan los datos es la del final del periodo de medición). La punta de la tarde se reparte de forma ligeramente más suave, si bien se alarga considerablemente en su duración.

3. En viernes el comportamiento de la mañana es idéntico al de los demás días laborables. Sin embargo la tarde representa el periodo de mayor demanda de toda la semana, llegando a niveles muy cercanos a la saturación. Lo cual debe interpretarse, dadas las especiales características de esta Calzada y la forma especial en que se calcula su capacidad, que la habilitación de un segundo ramal de acceso para VAO's aumentaría sensiblemente el rendimiento potencial de esta infraestructura (dado que a lo largo del tronco principal la capacidad teórica alcanza los 2790 vehículos).

4. En sábado la mayor utilización se concentra al rededor de las horas de mediodía, cuando muchos madrileños deciden comer en la Sierra. El comportamiento de la tarde es consecuencia de lo anterior, pero mucho más suave.

5. Como es lógico, en domingo la demanda se reparte, casi de forma uniforme a lo largo de toda la tarde, pero con niveles de saturación mucho menos graves que en el caso del viernes, si bien en este caso la situación es de entrada a Madrid. No es absoluto aplicable el comentario del punto 3 anterior por cuanto aquí el elemento crítico lo representan los ramales de trenzado de descargo sobre la N-VI hacia Moncloa.

Como resumen de todo lo hasta aquí expuesto se puede decir que la Calzada BUS-VAO presta un servicio altamente acorde con las expectativas puestas en su diseño, como lo demuestran sin paliativos los resultados obtenidos. Si bien se podría aumentar la capacidad operativa para operaciones salida, no parece que la inversión requerida justifique por el momento tal intervención, al menos hasta que el resto de la carretera se encuentra más congestionado. De modo que la valoración global es altamente positiva. ●