

El ahorro energético en el transporte urbano

Se presenta a continuación un resumen de las ponencias dedicadas a los transportes urbanos dentro de las Jornadas sobre Ahorro de Energía en la Ciudad, celebradas en Madrid en el pasado mes de marzo.

1. INTRODUCCION

Dentro de las Jornadas Municipales que sobre Ahorro de Energía en la Ciudad se han celebrado en Madrid los pasados días 20, 21 y 22 de marzo, la primera sesión estuvo dedicada al ámbito de los Transportes Urbanos, desarrollándose las cuatro ponencias siguientes:

«Planificación del transporte en las zonas urbanas y su repercusión en el consumo energético». Por don Víctor Sánchez Blanco (Instituto de Estudios de Transportes y Comunicaciones).

«Transporte colectivo, su influencia en el ahorro energético». Por don Francisco Javier Valero Calvete (Metro de Madrid).

«Medidas de ahorro energético en el transporte privado urbano». Por don Sebastián de la Rica Castedo (Delegación de Circulación y Transportes del Ayuntamiento de Madrid).

«Nuevas tecnologías. Incidencia de los vehículos eléctricos en el transporte urbano». Por don Joaquín Martínez de Velasco Gómez (IRANOR).

cuyo contenido se resume a continuación, no de forma localizada hacia cada ponencia, sino constituyendo un todo único con objeto de presentar una panorámica coherente de todo lo tratado.

2. CONSUMO ENERGETICO EN ESPAÑA

Durante 1978 el consumo de energía en nuestro país ascendió a 101 millones de toneladas equivalentes de carbón (105 millones en 1979); siendo el 67 por 100 de dicha energía de origen petrolífero (65 por 100 en 1979).

Un 20 por 100 de dicha energía fue empleada directamente en el sector transporte, participación algo superior a la correspondiente al conjunto de la CEE, que fue un 17 por 100, encontrándose la principal razón de esta diferencia en la menor importancia del consumo en usos domésticos en nues-

tro país (14 por 100 de la energía primaria, frente al 28 por 100 de la CEE).

En cualquier caso resultan las siguientes cifras de consumo por habitante en España y en la CEE:

F a c t o r	España	CEE
Consumo de energía primaria imputable al transporte por habit. (1977).	0,40 tep/hab.	0,60 tep/hab.
Consumo total por hab.	1,89 tep/hab.	3,53 tep/hab.

Como es sabido la energía consumida en el sector es casi únicamente de origen petrolífero (más del 98 por 100), lo que hace que su participación en el consumo de petróleo llegue al 28 por 100 y sea uno de los sectores más afectados por el encarecimiento de este tipo de combustibles.



EL AHORRO ENERGETICO EN EL TRANSPORTE URBANO

TABLA 1. — *Consumos energéticos en transportes urbanos (1978).*

Transporte		Consumo (10 ³ tep)	Estructura consumo urbano	Tráfico realizado (10 ⁶)
Viajeros	Vehículos individuales (coches y motos).	1.428	63	25.000 V-Km
	Transportes colectivos:			
	— Autobuses.	126	10	5.852 V-Km
	— Metros.	83		3.805 V-Km
Mercancías.		614	27	10.300 V-Km
Total transporte urbano.		2.251 (15 %)	100	44.957 UK
Total transporte interurbano.		12.443 (85 %)		
Total transporte.		14.694 (100 %)		

Fuente: Instituto de Estudios de Transportes y Comunicaciones.

TABLA 2. — *Consumos específicos aproximados de distintos modos.*

Modo	Consumo	
	Zona urbana	Zona interurbana
Coches	50-60 gep/V-Km	30-40 gep/V-Km
Autobuses y Metro.	20 gep/V-Km	10 gep/V-Km
Veh. de mercancías.	80-100 gep/t-Km	50-60 gep/t-Km

Fuente: Planificación del Transporte en las zonas urbanas y su repercusión en el consumo energético.

Victor Sánchez Blanco. Jornadas Municipales sobre Ahorro de Energía en la Ciudad. Madrid, 1980.

Aún cuando no es fácil distribuir este consumo total en el transporte por carretera, entre los correspondientes a zonas urbanas y no urbanas, el Instituto de Estudios de Transportes y Comunicaciones, basándose en datos sobre recorridos y consumos obtenidos en distintas encuestas ha realizado recientemente las estimaciones indicadas en la tabla 1. De dicha tabla se deduce que un 15 por 100 del consumo total en el sector transporte se utiliza en los transportes urbanos.

Por lo que se refiere a los *consumos específicos* de cada modo, V. Sánchez Blanco indica las cifras aproximadas en la tabla 2, en la cual se comparan los consumos en zona urbana e interurbana.

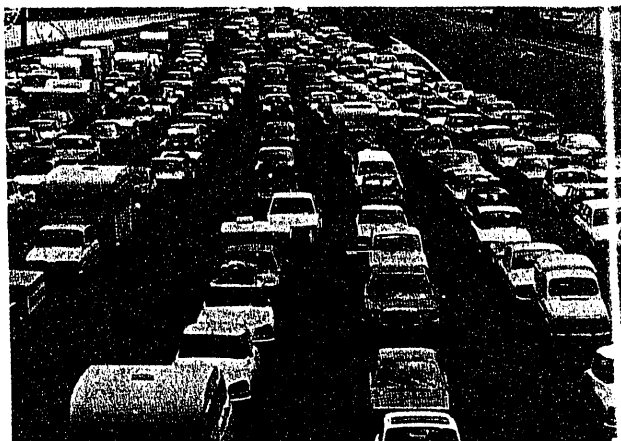
Las razones de las diferencias que se observan

3. CONSUMO ENERGETICO EN LOS DISTINTOS MODOS

Si se analiza el consumo de energía en los distintos modos se observa que los vehículos de carretera consumen alrededor del 72 por 100 de la energía utilizada en el sector. Dicha cifra se reparte del siguiente modo:

Coches y motos	39 %
Vehículos de transporte de mercancías.	30 %
Autobuses	3 %

Dentro de estos porcentajes están incluidos también los consumos en zonas urbanas, donde este modo de transporte es el predominante.



EL AHORRO ENERGETICO EN EL TRANSPORTE URBANO

TABLA 3. — Grado de ocupación en distintos modos.

Modo	Motivo del viaje	Zona urbana (viajeros/vehículo)	Zona interurbana (viajeros/vehículo)	Fuente (Ponencia)
Coches	Trabajo	1,17	—	Sebastián de la Rica Castedo
	Compras	1,70		
	Resto	1,80		
	Media	1,34		
	—	1,2 a 1,4	2 a 2,4	V. Sánchez Blanco
Autobuses	—	—	60 %	V. Sánchez Blanco
Metro		Máxima: 29,4 % Mínima: 1,07 %		Javier Valero Calvete

TABLA 4. — Consumos específicos del autobús, Metro y vehículo privado en 1979.

A) Autobús (EMT):	
Viajeros transportados	432.084.423
Consumo	39.391.983 l gas-oil.
Recorrido medio	4,5 Km
1 litro de gas-oil	1.305 gec.
Consumo estimado por V-Km.	26,4 gec.
	(25 gec. en 1975)
B) Metro:	
Viajeros transportados	393.098.424
Consumo	217.614.716 kW/h
Recorrido medio	5 Km
1 kW/h	353 gec.
Consumo medio por viaj.-Km.	39,1 gec.
	(24,75 gec. en 1975)
C) Vehículo privado:	
Consumo	11 litros/100 Km
Ocupación media	1,34 viajeros/coche
Consumo por viajero-Km	96,5 gec.
	(86 gec. en 1975)

Fuente: Transporte colectivo, su influencia en el ahorro energético. J. Valero Calvete.

Jornadas Municipales sobre el Ahorro de Energía en la Ciudad. Marzo 1980.

se encuentran en el caso del transporte de viajeros, en las bajas ocupaciones de los vehículos tanto de coches como de autobuses y Metros, tal como se deduce de la tabla 3, donde se recogen datos de distintas fuentes.

De forma más precisa el consumo energético

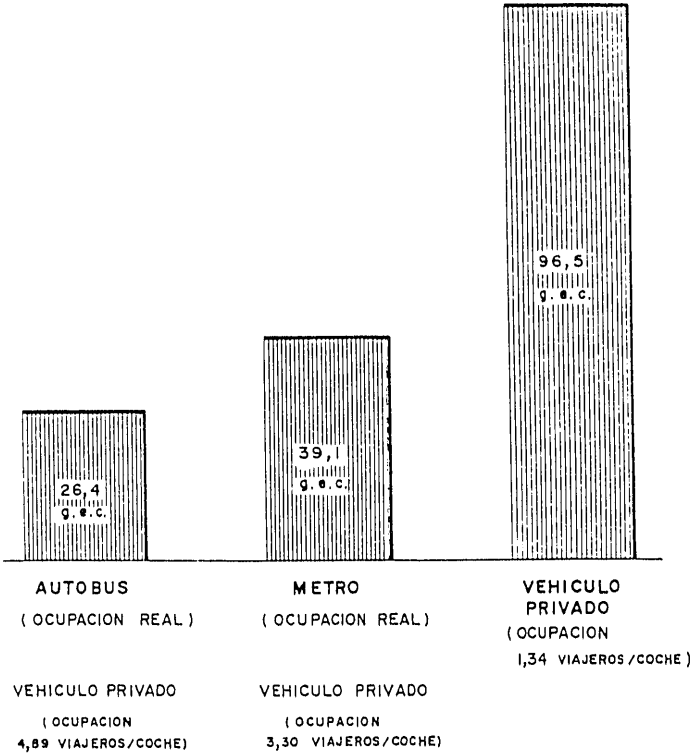


Gráfico 1. — Consumos unitarios en autobús, Metro y vehículo privado. Año 1979. Madrid.

de los distintos modos de transporte urbano se ha establecido para 1979 dividiendo los consumos efectuados por los viajeros-kilómetro transportados. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 4, los cuales se comparan con los correspondientes, por el mismo procedimiento a 1975.

Se observa entonces que si bien el autobús ha mantenido prácticamente su consumo específico, el vehículo privado lo incrementó en un 12 por 100.

EL AHORRO ENERGETICO EN EL TRANSPORTE URBANO

TABLA 1. — *Consumos energéticos en transportes urbanos (1978).*

Transporte		Consumo (10 ³ tep)	Estructura consumo urbano	Tráfico realizado (10 ⁶)
Viajeros	Vehículos individuales (coches y motos).	1.428	63	25.000 V-Km
	Transportes colectivos:			
	— Autobuses.	126	10	5.852 V-Km
	— Metros.	83		3.805 V-Km
Mercancías.		614	27	10.300 V-Km
Total transporte urbano.		2.251 (15 %)	100	44.957 UK
Total transporte interurbano.		12.443 (85 %)		
Total transporte.		14.694 (100 %)		

Fuente: Instituto de Estudios de Transportes y Comunicaciones.

TABLA 2. — *Consumos específicos aproximados de distintos modos.*

Modo	Consumo	
	Zona urbana	Zona interurbana
Coches	50-60 gep/V-Km	30-40 gep/V-Km
Autobuses y Metro.	20 gep/V-Km	10 gep/V-Km
Veh. de mercancías.	80-100 gep/t-Km	50-60 gep/t-Km

Fuente: Planificación del Transporte en las zonas urbanas y su repercusión en el consumo energético.

Víctor Sánchez Blanco. Jornadas Municipales sobre Ahorro de Energía en la Ciudad. Madrid, 1980.

Aún cuando no es fácil distribuir este consumo total en el transporte por carretera, entre los correspondientes a zonas urbanas y no urbanas, el Instituto de Estudios de Transportes y Comunicaciones, basándose en datos sobre recorridos y consumos obtenidos en distintas encuestas ha realizado recientemente las estimaciones indicadas en la tabla 1. De dicha tabla se deduce que un 15 por 100 del consumo total en el sector transporte se utiliza en los transportes urbanos.

Por lo que se refiere a los *consumos específicos* de cada modo, V. Sánchez Blanco indica las cifras aproximadas en la tabla 2, en la cual se comparan los consumos en zona urbana e interurbana.

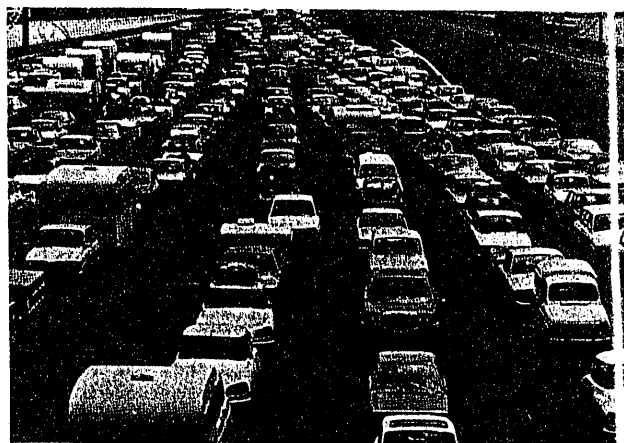
Las razones de las diferencias que se observan

3. CONSUMO ENERGETICO EN LOS DISTINTOS MODOS

Si se analiza el consumo de energía en los distintos modos se observa que los vehículos de carretera consumen alrededor del 72 por 100 de la energía utilizada en el sector. Dicha cifra se reparte del siguiente modo:

Coches y motos	39 %
Vehículos de transporte de mercancías.	30 %
Autobuses	3 %

Dentro de estos porcentajes están incluidos también los consumos en zonas urbanas, donde este modo de transporte es el predominante.



EL AHORRO ENERGETICO EN EL TRANSPORTE URBANO

TABLA 3. — Grado de ocupación en distintos modos.

Modo	Motivo del viaje	Zona urbana (viajeros/vehículo)	Zona interurbana (viajeros/vehículo)	Fuente (Ponencia)
Coches	Trabajo	1,17	—	Sebastián de la Rica Castedo
	Compras	1,70		
	Resto	1,80		
	Media	1,34		
	—	1,2 a 1,4	2 a 2,4	V. Sánchez Blanco
Autobuses	—	—	60 %	V. Sánchez Blanco
Metro		Máxima: 29,4 % Mínima: 1,07 %		Javier Valero Calvete

TABLA 4. — Consumos específicos del autobús, Metro y vehículo privado en 1979.

A) Autobús (EMT):

Viajeros transportados	432.084.423
Consumo	39.391.983 l gas-oil.
Recorrido medio	4,5 Km
1 litro de gas-oil	1.305 gec.
Consumo estimado por V-Km.	26,4 gec.
	(25 gec. en 1975)

B) Metro:

Viajeros transportados	393.098.424
Consumo	217.614.716 kW/h
Recorrido medio	5 Km
1 kW/h	353 gec.
Consumo medio por viaj.-Km.	39,1 gec.
	(24,75 gec. en 1975)

C) Vehículo privado:

Consumo	11 litros/100 Km
Ocupación media	1,34 viajeros/coche
Consumo por viajero-Km	96,5 gec.
	(86 gec. en 1975)

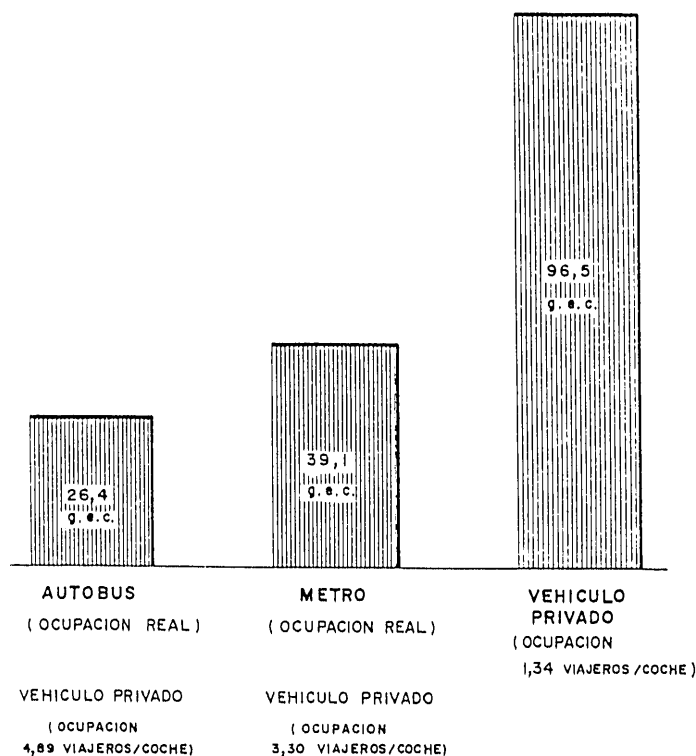


Gráfico 1. — Consumos unitarios en autobús, Metro y vehículo privado. Año 1979. Madrid.

Fuente: Transporte colectivo, su influencia en el ahorro energético. J. Valero Calvete.

Jornadas Municipales sobre el Ahorro de Energía en la Ciudad. Marzo 1980.

se encuentran en el caso del transporte de viajeros, en las bajas ocupaciones de los vehículos tanto de de coches como de autobuses y Metros, tal como se deduce de la tabla 3, donde se recogen datos de distintas fuentes.

De forma más precisa el consumo energético

de los distintos modos de transporte urbano se ha establecido para 1979 dividiendo los consumos efectuados por los viajeros-kilómetro transportados. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 4, los cuales se comparan con los correspondientes, por el mismo procedimiento a 1975.

Se observa entonces que si bien el autobús ha mantenido prácticamente su consumo específico, el vehículo privado lo incrementó en un 12 por 100.

EL AHORRO ENERGETICO EN EL TRANSPORTE URBANO

TABLA 5. — Evolución consumos en el Metro.

Componente	A ñ o s	
	1975	1979
Energía de tracción.	92 %	78 % (60 a 40 %)
Servicios auxiliares.	8 %	22 % (40 a 50 %)

Líneas de gálibo grande.

el Metro lo hizo en un 58 por 100. El considerable aumento de este último modo se explica por dos hechos principales:

1.º Disminución en el grado de ocupación de los vehículos.

2.º Entrada en servicio de las líneas del Plan de Ampliación.

Con relación al primero no se dispone de cifras exactas pero resulta significativo destacar que la entrada en servicio de las líneas del Plan de Ampliación, con mayor calidad y comodidad, así como a mayor profundidad, con la consiguiente necesidad de grandes tramos de escaleras mecánicas ha determinado un incremento del consumo en servicios auxiliares, con relación al consumo de tracción, tal como se pone de manifiesto en la tabla 5.

Es interesante observar en el gráfico 1 cómo el incremento del grado de ocupación de los vehículos

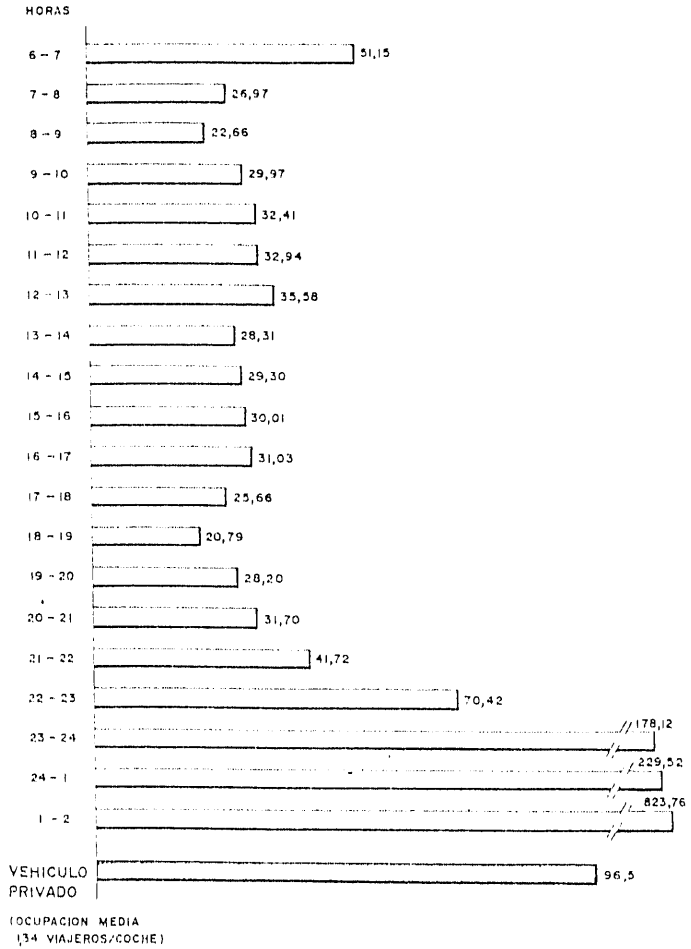


Gráfico 2. — Consumo por viajero-kilómetro en las diferentes horas en G.E.C. en un día laborable medio en el Metro de Madrid, 1979.

TABLA 6. — Relación motivo del viaje-modo de transporte en zonas urbanas.

Origen del viaje	Porcentaje (%)	Modo de transporte (%)			Número de viajes por día	Duración (minutos)
		Público	Privado	A pie		
Trabajo	26	52	25	23	25 % ninguno 50 % uno 25 % dos	
Escolar	34	18	4	78	600.00 viajes en transporte colectivo. 200.000 viajes en coche	38 20
Compras	14	—	—	84		
Varios	26	—	—	—		

Fuente Planificación del transporte en las zonas urbanas y su repercusión en el consumo energético.

V. Sánchez Blanco. Jornadas Municipales sobre Ahorro de Energía en la Ciudad.

privados se traduciría en unos consumos específicos de este modo de transporte iguales a los del Metro y el autobús. Dicha igualdad ocurriría para una ocupación respectiva de 3,30 y 4,89 viajeros por coche.

Señalemos finalmente que el consumo específico varía, como es lógico, con las horas del día, siendo de gran interés constatar (gráfico 2) la distribución de aquél a lo largo de un día laborable medio. Se observa en dicho gráfico que el consumo específico menor corresponde al periodo dieciocho-diecinueve horas, que es aquel en el que el grado de ocupación es mayor. Por el contrario, de una a dos de la madrugada, el consumo específico es 40 veces superior al precedente.

4. LA DEMANDA DE VIAJES Y LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN ELLA

Evidentemente, el consumo total de energía en el transporte urbano es el producto de tres factores.

1. Número de viajes que se realizan en los distintos modos de transporte.
2. Distancia recorrida en dichos viajes.
3. Consumo específico de los vehículos por viajero-kilómetro transportado.

A continuación analizaremos las características que configuran dichos factores y en el apartado siguiente las medidas que se pueden adoptar para reducirlos.

Por lo que se refiere al número de viajes cabe señalar que de los estudios realizados en varias áreas urbanas de España (Madrid, Bilbao, Valencia, etcétera) se deduce que en ellas se produce diariamente alrededor de un viaje en medios mecánicos por habitante, además de otros tantos a pie.

El reparto de estos viajes según los modos de transporte varía de unas ciudades a otras, aunque en general la utilización de los transportes colectivos es mayor en las de mayor tamaño. En la tabla 6 se indica la relación motivo del viaje-modo de transporte para Madrid.

Por lo que se refiere a la distancia recorrida para viajes de trabajo pueden estimarse para Madrid las siguientes cifras:

Modo	Longitud recorrida en viajes al trabajo
Transporte colectivo	4 Km
Coche	6 Km.
A pie	700 m



Finalmente, en cuanto a los consumos específicos de los distintos vehículos por viajero-kilómetro transportado, ya nos hemos referido en el apartado anterior.

5. MEDIDAS DE AHORRO ENERGETICO EN EL TRANSPORTE COLECTIVO

Las medidas de ahorro energético en el transporte colectivo se pueden agrupar en dos categorías:

- A) Mediante un cambio modal hacia los sistemas más eficientes.
- B) A través de un ahorro interno de cada sistema.

Por lo que se refiere a la primera, cabe destacar que el trasvase de viajeros del vehículo privado al transporte colectivo supondría no sólo un ahorro directo de energía, sino además el derivado de disminuir la congestión, que se traduciría en un menor consumo energético unitario de los vehículos que continuasen circulando, así como el que tendría su origen en un mayor grado de ocupación de los transportes colectivos, con la consiguiente disminución de los consumos específicos por viajero-kilómetro transportado.

Este cambio modal puede realizarse de dos maneras que de forma gráfica podrían definirse como «empujando o tirando del viajero».

En el primer caso las medidas a adoptar serían:

- a) La creación de estacionamientos de disuasión.

b) Limitaciones de estacionamiento.

Con relación a la primera recordemos tan sólo la necesidad de que los estacionamientos de disuasión sean numerosos, no muy grandes y alejados del centro, con un precio bajo o incluso nulo.

En cuanto a la limitación de estacionamiento la experiencia llevada a cabo en Madrid las pasadas Navidades permitió comprobar el efecto de trasvase y de disminución de tráfico que tiene una medida de restricción de aparcamiento, tal como se pone de manifiesto en la tabla 7.

A pesar de la corta duración de las medidas (tres semanas) puede observarse la eficacia de la medida, especialmente en los incrementos de velocidad obtenidos.

En este sentido es interesante subrayar que según han demostrado algunos estudios, para viajes urbanos, con velocidad media inferior a los 60 kiló-

metros por hora, el consumo de combustible por kilómetro aumenta linealmente con el tiempo medio de recorrido por kilómetro.

Según esto se puede decir que un incremento de un kilómetro por hora, en la velocidad media de recorrido de una ciudad como Madrid puede suponer un ahorro de combustible de un 2 a un 3 por 100, es decir, entre un tercio y medio litro de gasolina cada 100 kilómetros.

Si se tiene en cuenta que en la red aforada de Madrid el número de vehículos por kilómetro fue superior a los 4.500 millones, en el año 1977 podríamos decir que la simple mejora de un kilómetro por hora habría supuesto un ahorro de más de 10 millones de litros de gasolina al año.

En esta misma línea el incremento de la velocidad cabe recordar que cuando se implantó en Madrid el sistema de Regulación Centralizada del Tráfico con ordenador, se comprobó una mejora algo superior al 10 por 100 en los tiempos de recorrido del área (cerca de dos kilómetros por hora de aumento en la velocidad media). Aunque individualmente no sea apreciable una mejora tan modesta, ya hemos indicado antes lo que puede significar en el conjunto de una ciudad.

Por esta causa el Ayuntamiento de Madrid está a punto de adjudicar un concurso para la Ampliación y Mejora del Sistema Centralizado, lo que significará pasar de los 120 cruces actuales a unos 400, además de mejorar sensiblemente las posibilidades de programación.

En cuanto a la categoría B, es decir, de ahorro energético por ahorro interno de cada sistema, en la tabla 8 se sintetizan las medidas que se han analizado y las conclusiones provisionales a las que se ha llegado en el Metro de Madrid para reducir su consumo de energía.

A. L. P.

TABLA 7. — Resultados de la restricción de aparcamiento en el centro de Madrid (Navidad 1979-1980).

Zona	Comparación		Incremento del tráfico
Centro	Navidad 79/Navidad 78		+ 0,1 %
Conj. ciudad ..	Navidad 79/Navidad 78		+ 8,9 %
Centro	Navidad 79/Prev. Navidad 79		— 10,3 %
Conj. ciudad ..	Navidad 79/Prev. Navidad 79		+ 3,2 %
Zona	Velocidad (Km/h)		Incremento
	Navidad 78	Navidad 79	
Centro	15,2	17,48	+ 15 %
Exterior	31,3	33,20	+ 6 %
Conjunto	27,4	29,40	+ 7,3 %

Fuente: Medidas de ahorro energético en el transporte privado urbano. Sebastián de la Rica Castedo.

EL AHORRO ENERGETICO EN EL TRANSPORTE URBANO

TABLA 8. — *Soluciones analizadas para reducir el consumo en el Metro de Madrid.*

Solución	Conclusiones
Reducción del número de trenes en horas no punta.	Medida poco recomendable: ahorro energético mínimo y deterioro de la calidad del servicio.
Disminución del número de coches por tren.	Solución válida para mejorar la relación oferta-demanda. Problemas técnicos para llevarla a la práctica.
Adelanto de la hora de cierre del servicio.	Medida razonable. Pequeño número de personas afectadas (de doce de la noche a una y media de la madrugada: 6.086). Necesidad de coordinación con el servicio de autobuses.
Cierre de determinadas estaciones.	Determinadas estaciones tienen un tráfico prácticamente nulo por la noche.
Modificaciones de horario.	Los domingos por la mañana el servicio se abre a las seis horas como el resto de los días, siendo prácticamente nulo el tráfico hasta las diez de la mañana.
Cambio del sistema de explotación con intervalo a un sistema de explotación con horario.	Intervalos superiores a quince-veinte minutos resultan desagradables. Dificultades en las conexiones. Se estudia su implantación a determinadas líneas en días festivos.
Flexibilidad de la explotación (posibilidad de que no todos los trenes realicen el recorrido completo de una línea).	Existe en otros países. Requiere un adecuado sistema de información al viajero.
Reducción de la ventilación.	La reducción del tiempo de funcionamiento de los ventiladores de veinticuatro a doce horas supondría un ahorro del 0,8 por 100 del consumo total de energía del Metro. Aplicación muy relativa.
Reducción en el consumo de escaleras mecánicas.	El funcionamiento de las escaleras por accionamiento al pisar permitiría un ahorro de hasta el 0,5 por 100 de la energía total consumida en el Metro. Incremento del número de averías.
Reducción del peso de los coches.	El consumo energético que lleva consigo la fabricación de aleaciones ligeras no compensa el ahorro energético de su menor peso.
Conducción automática.	No parece tener notable incidencia energética.
Utilización del chopper y recuperación de la energía.	La economía del chopper con recuperación de energía puede oscilar entre el 20 y el 40 por 100 del total de energía de tracción.