

A-259
17

Biblioteca General M. de Fomento



1002064
A-259/17

RECOMENDACIONES PARA
LA EVALUACION ECONOMICA, COSTE-BENEFICIO,
DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE CARRETERAS.



PROVISIONAL
SUJETO A REVISION

Servicio de Planeamiento, Marzo 1988.

I N D I C E

Consideraciones en torno a los estudios de rentabilidad de carreteras	1
1. Identificación y definición del proyecto y su zona de influencia	2
1.1. Tramificación	2
1.2. Características geométricas de los tramos	3
2. Análisis de la demanda	4
3. Previsión de costes y beneficios. Vida útil.....	5
3.1. Vida útil	5
3.2. Costes del proyecto	5
3.2.1. Gastos de primera inversión.....	5
3.2.2. Gastos de rehabilitación y conservación.....	6
3.3. Beneficios de cada alternativa	8
3.3.1. Costes de funcionamiento.....	9
3.3.1.1. Gastos de amortización.....	9
3.3.1.2. Gastos de conservación.....	12
3.3.1.3. Consumo de combustibles	14
3.3.1.4. Gastos de lubricantes	19
3.3.1.5. Gastos de neumáticos	20
3.3.2. Coste del tiempo de recorrido	22
3.3.3. Coste de los accidentes	25
3.3.3.1. Determinación del número de accidentes	26
3.3.3.2. Coste unitario de los accidentes	30
4. Criterios e indicadores de rentabilidad económica. Tasa de actualización.....	32
4.1. Tasa de actualización o descuento	32

4.2. Indicadores	33
4.2.1. Indicadores que varían con la tasa de actualización.....	33
4.2.1.1. VAN. Valor Actualizado neto.....	34
4.2.1.2. B/C. Relación beneficio-coste	34
4.2.1.3. PRI. Período de recuperación de la inversión....	35
4.2.2. Indicadores independientes de la tasa de actualización...	35
4.2.2.1. TIR. Tasa interna de retorno	35
4.3. Criterios de selección.....	36

APENDICE I. Crecimiento y Predicción del tráfico	I.1.
1. Crecimiento del tráfico nacional y por corredores...	I.1.
2. Predicción del Tráfico en la RIGE	I.14.
APENDICE II. Estimación de la estructura horaria del tráfico	II.1.
Ejemplo	II.3.
APENDICE III. Cálculo de la capacidad de la carretera y de la velo- cidad de operación de turismos para distintas intensi- dades de tráfico	III.1
1. Carreteras con calzadas separadas	III.1
2. Carreteras de una calzada con dos carriles	III.8
APENDICE IV. Relación entre la velocidad de recorrido de vehículos ligeros y pesados	IV.1.

CONSIDERACIONES EN TORNO A LOS ESTUDIOS DE RENTABILIDAD EN CARRETERAS

El objeto de estas notas es entresacar los aspectos más relevantes de la evaluación económica de proyectos en carreteras hasta que se produzca la aprobación definitiva del manual de evaluación.

La pauta teórica se encuentra recogida en "Metodología para la evaluación de proyectos de inversión en carreteras" publicada por el MOPU - Dirección General de Carreteras en el año 1.980.

De las fases generales de un proyecto de carreteras, entendido aquí como una inversión pública, y que reseñamos a continuación, hay que extraer los puntos que inciden directamente en la evaluación y que no tienen que reducirse a los estrictamente económicos, dado que hay variables que no son cuantificables monetariamente y que sobre proyectos con rentabilidades aceptables pueden ser relevantes a la hora de la decisión, la cual sería de tipo multicriterio. Ese conjunto de datos, cuantitativos y cualitativos, puede acompañarse en un cuadro final afectando a cada una de las alternativas.

Las fases a las que hacemos mención son las siguientes:

- 1.- Identificación y definición del proyecto y de su zona de influencia.
- 2.- Análisis de la demanda. Estudio y previsión de tráfico.
- 3.- Previsión de costes y beneficios.
- 4.- Análisis de la rentabilidad económica y financiera del proyecto.
- 5.- Incidencia del proyecto sobre otros objetivos de política económica, social y sobre el medio ambiente.

Salvo en el caso de autopistas de peaje donde es fundamental el análisis de rentabilidad financiera, para el resto de las obras, sólo hay que realizar el análisis de rentabilidad económica.

1. IDENTIFICACION Y DEFINICION DEL PROYECTO Y DE SU ZONA DE INFLUENCIA

Obtención para cada uno de los tramos homogéneos en que se divide la situación actual y cada una de las alternativas, del conjunto de características geométricas y territoriales precisas para realizar -- la evaluación, aunque directamente en la evaluación económica sólo incidan las primeras.

1.1. Tramificación. Es la división de cada alternativa, incluida la situación actual, en el menor número posible de tramos homogéneos. Como tal debe considerarse:

- a) Zonas urbanas - Zonas interurbanas
- b) Tramos en pendiente - Tramos en rampa - Tramos llanos (1)
- c) Tramos de circulación libre (solo condicionada por el -- tráfico) - Puntos de parada.
- d) Tramos con tráfico homogéneo.
- e) Tramos con características tipológicas homogéneas (doble calzada, una calzada más carril lento, una calzada).

** Por lo general cada alternativa puede reducirse a dos o tres tramos.

** Salvo que la composición y volumen del tráfico sea diferente en los -- dos sentidos de circulación, se tomará como característica la semisuma de los dos.

(1) Como tramos llanos suele considerarse aquellos cuya inclinación me dia oscila entre -2% y +2%.

1.2. Características de los tramos.

a) Geométricas (*)

- Número de carriles
- Anchura de sección, arcenes y carriles lentos
- Pendiente media
- Radios de curvatura y radio mínimo
- Distancia media a obstáculos laterales
- Distancias de visibilidad o % de longitud del tramo.
- Longitud
- Velocidad de proyecto o en situación de libre circulación en el tramo.
- Tanto por ciento de vehículos pesados.

b) Tipológicas

- Tipo de carretera en cuanto a calzada : Sentidos separados o no.
- Urbano - Interurbano
- Sociales - Territoriales - Medio ambientales

Como tal pueden recogerse en un cuadro la población directamente afectada, usos y tipo de zona pisada, impacto sociales y territoriales, cambios de actividad, problemas puntuales, interrelación con otros planeamientos (de la propia zona y con las zonas de borde en las que se engarza el proyecto).

(*) Parte de la información geométrica tiene por único fin la determinación de la capacidad y velocidad específica. El porcentaje de vehículos pesados puede extraerse de los planos de I.M.D. en la estación más próxima.

2. ANALISIS DE LA DEMANDA

El tráfico a considerar en cada año sería el normal (si no - hubiese más actuación que la conservación y explotación) al que se añadiría el atraído o desviado de otros modos de transporte y el generado por la nueva actuación que o bien no se produciría antes o no utilizaría este itinerario.

* * La fiabilidad del estudio de rentabilidad radica fundamentalmente - en la bondad de la predicción de tráfico que se efectúe. Unas hipótesis no debidamente avaladas quitan toda validez a los resultados.

* * Junto a la predicción de tráfico durante el período de vida útil del proyecto conviene igualmente hacer una hipótesis alta y baja de tráfico(1) que permita conocer la sensibilidad de los resultados.

* * Es de capital importancia considerar como zona de afección, en cuanto a tráfico, aquella que recoge tráficos que pertenecen al mismo corredor que el del proyecto, de manera que cualquier actuación sobre aquellos - redunde en una variación de carga sobre el del estudio. Para ello es --- preciso disponer de unas encuestas de Origen-Destino que nos permitan co- nocer la distribución de tráfico en el corredor y a continuación por -- medio de un modelo que contemple todas las actuaciones a realizar sobre el mismo, proceder a una reasignación del tráfico.

*** A falta de estudios de detalle se ha recogido en el Apéndice 1 las esti- maciones del: Crecimiento y predicción del tráfico donde se analiza en el primer punto el crecimiento nacional y por corredores y en segundo lugar se hace una predicción de tráfico en la RIGE.

*** Para obtener los costes de funcionamiento y consumo de tiempo hay que -- disponer de la estructura horaria del tráfico total, ya que dichas partidas son función de la velocidad de recorrido que a su vez depende de la intensi- dad de tráfico.

En caso de no disponer de la misma se puede proceder a su ---- estimación siguiendo el método indicado en el Apéndice 2.

(*) Como hipótesis alta y baja se pueden tomar los crecimientos máximos y mínimos esperados en el corredor.

3. PREVISION DE COSTES Y BENEFICIOS. VIDA UTIL

La evaluación económica tiene por objeto obtener una relación entre los costes producidos por la realización y conservación de una obra (y afectan por tanto a la sociedad a través de la administración que invierte) y los beneficios derivados de la misma (obtenidos como disminución de los costes generales de transporte que afectan a los usuarios) a lo largo de la vida útil de la obra.

3.1. Vida útil . Como período de análisis se suele tomar entre 20 y 30 años.

Se recomienda utilizar la última cifra (30 años) dado que para tasas de actualización bajas (6%) el valor residual de la obra puede despreciarse (<15%) mientras que con un período de 20 años el valor residual sería superior al 30%.

3.2. Costes de proyecto. Son los recursos reales escasos consumidos a lo largo de la vida útil.

Los costes monetarios primarios son los de inversión (primer establecimiento y reposición) que comprende proyecto, dirección, compra de terrenos y expropiaciones, reposición de servicios, obra civil, etc, los de rehabilitación y explotación que presentan un carácter cíclico (8 y 1 años respectivamente).

3.2.1. Gastos de primera inversión. Pueden extraerse del proyecto ó estudio previo, o bien de una estimación realizada a partir de los componentes y unidades según el tipo de obra.

De las tres cantidades distintas de costes (ejecución material, contrata y presupuesto para conocimiento de la administración), se utilizará

la segunda descontando un 12% de su valor (correspondiente a los impuestos que suponen una transferencia y no una movilización de recursos) y añadiendo los gastos de expropiaciones.

$$\text{COSTE OBRA} = \frac{1}{1,12} \text{ COSTE CONTRATA} + \text{EXPROPIACIONES}^{(1)}$$

(Este dato, en pesetas constantes del año en que se efectúa el análisis se distribuirá entre los años de realización de la obra .

3.2.2. Gastos de rehabilitación y conservación⁽²⁾

1^{er} método Se trata independientemente los gastos de conservación de los de rehabilitación

a) carreteras de 2 calzadas

Rehabilitación: $10 \cdot 10^6$ ptas/km. en cada calzada cada 8 años

Conservación: 100.000 ptas./km. en cada calzada el 1^{er} año creciendo linealmente hasta duplicarse el 7^o año.

Juntando uno y otro concepto tenemos para cada km. de calzada la siguiente serie de costes (en Millones de ptas. de 1987).

COSTE REHABILITACION + CONSERVACION . DOS CALZADAS

AÑO				COSTE/Km. (10^6 Ptas)
1				0.1
2	10	18	26	0.1143
3	11	19	27	0.1286
4	12	<u>20</u>	28	0.1429
5	13	21	29	0.1571
6	14	22	<u>30</u>	0.1714
7	15	23		0.1897
8	16	24		0.2
9	17	<u>25</u>		10.1

(1) El presupuesto por contrata debe incluir la restitución de servidumbres, dirección de obra y la redacción del proyecto.

(2) En el caso de existencia de estructuras debe añadirse un coste anual de conservación que la OCDE cifra en un 0,5% anual sobre el coste de la obra.
Fuente: L'entretien des ouvrages d'art. Septiembre 81.

(El resultado total se obtiene multiplicando para cada año los valores anteriores por la suma de longitudes de las dos calzadas).

b) Carreteras de 1 calzada

Rehabilitación: $10 \cdot 10^6$ pts/km. cada 8 años.

Conservación: 150.000 pts/km. en el primer año creciendo linealmente hasta duplicarse el séptimo año.

Juntando uno y otro concepto tenemos para cada Km. de calzada la siguiente serie de costes (en ptas. de 1987):

COSTES REHABILITACION + CONSERVACION. 1 CALZADA

AÑO				COSTE/KM (x 10^6 Ptas)
1				0.15
2	10	18	26	0.1714
3	11	19	27	0.1929
4	12	<u>20</u>	28	0.2143
5	13	21	29	0.2357
6	14	22	30	0.2571
7	15	23		0.2786
8	16	24		0.3
9	17	25		10.15



Para el cálculo de costes de la carretera actual habría que situar el primer año en el correspondiente al momento temporal de la última rehabilitación.

2º método. Unir los conceptos de rehabilitación y conservación considerando los siguientes costes (1):

(1) Las cifras resultantes por este método como por el anterior vienen a dar unas cifras próximas al 1,5% anual del valor de la obra, si bien el primer método se ajusta mas a la vida real de la obra y tiene su repercusión al efectuar las actualizaciones.

El valor de 1,5% anual como medio durante la vida útil es el considerado mas correcto tanto en los presupuestos de conservación y reposición del Plan General de Carreteras, así como en las ponencias de conservación de la XIII Semana de la Carretera

- . 6 primeros años: 1% del coste de ejecución de la obra
- . años restantes: 1,6% " " "

Caso de utilizar el 2º método el valor patrimonial de la carretera actual deberá obtenerse a partir del coste/km. de una carretera de la zona de similares características.

** Para todas las opciones, incluida la actual, deberá adoptarse el mismo método.

** Los costes totales para la evaluación de cada alternativa serán la diferencia entre las de inversión y conservación de la misma, menos los equivalentes de la alternativa actual.

3.3. BENEFICIOS DE CADA ALTERNATIVA

Son los derivados por la disminución de los costes generales de transporte al efectuar una determinada actuación.

Se obtienen para cada año como diferencia entre los costes generales de transporte en la situación actual y cada una de las alternativas.

Las componentes del coste de transporte son las siguientes:

1. Costes de funcionamiento (1)

- Amortización
- Mantenimiento
- Reparaciones y repuestos
- Consumo de combustibles
- Consumo de lubricantes
- Desgaste y reparación de cámaras y cubiertas

2. Costes del tiempo recorrido

3. Coste de los accidentes

Como paso previo hay que determinar para cada intensidad horaria, obtenida según se indica en el Apéndice 2, la velocidad de operación de los turismos (Apéndice 3) y en función de ésta la velocidad de los vehículos pesados (Apéndice 4).

(1) En los costes de funcionamiento no se contemplan aquellos que son independientes de la longitud recorrida como seguros, garaje, etc...

Se ha actualizado para febrero del 88 las distintas partidas de costes y los elementos precisos para su obtención.

En primer lugar y en base a las ventas producidas a lo largo de 1987 se ha obtenido el vehículo tipo representativo.

TURISMOS

CUBICAJE MEDIO: 1.440 c.c.

PRECIO FRANCO FABRICA= 1.036.500 Ptas.

COSTE MEDIO (con IVA + transporte, etc) = 1.420.000 Ptas.

CAMIONES⁽¹⁾

CARGA MAXIMA AUTORIZADA= 12,4 T.

PRECIO FRANCO FABRICA: $6,8 \cdot 10^6$ Ptas.⁽²⁾

3.3.1. Costes de funcionamiento

Los distintos componentes de este coste son los siguientes:

3.3.1.1. GASTOS DE AMORTIZACION

Salvo que haya diferencias de longitud, entre las distintas alternativas, puede eliminarse de la evaluación ya que se utilizan valores medios,

La depreciación de un vehículo viene producida, entre otros, por los siguientes factores

a) Tiempo de posesión

(1) El vehículo medio se ha obtenido a partir de las autorizaciones de transporte de 1983 con una carga máxima autorizada superior a 3 T.

(2) Precios proporcionados por GANVAM y referidos a los vehículos medios elegidos (PEGASOS, 1216, 1217 y 1234 y RENAULT D-210) en Diciembre de 1987 y que son a su vez representativos de la carga media.

- b) Longitud recorrida
- c) Características de los recorridos: Geometría y firme, urbana, interurbana, tipo de tráfico.
- d) Conservación y mantenimiento.

Según coinciden todos los autores, desde un punto de vista socio-económico el primer aspecto (tiempo) y sobre todo los primeros años, es el factor más determinante de la depreciación^(*).

El estado de conservación y mantenimiento debido a los recorridos se imputan directamente en otro apartado en función de las características geométricas.

Queda, por tanto la parte debida a la longitud y la correspondiente a la conservación global del vehículo, pero dado la inexistencia de estudios en detalle solo se puede introducir en la evaluación con valores medios sin mayor precisión.

A modo de referencia se utilizarán las cifras obtenidas de los siguientes cálculos, efectuados sobre precios de mercado:

(*) Ello viene corroborado por los precios que oficialmente vienen publicando las casas de coches usados (GANVAM) donde existe una depreciación exclusivamente en función de la edad del vehículo.

Se ha efectuado además, un análisis sobre los anuncios de vehículos de 2ª mano, existiendo un deslizamiento al alza del 15% lo que permite converger en un precio final próximo al medio.

a) Turismos

- Hipótesis: . Recorrido medio anual: 15.000 Km. (*)
- . Vida útil : 10 años
 - . Precio inicial: 1.036.500
 - . Precio final vida útil: 238.000 (**)
 - . Depreciación imputable al recorrido: 50%.

$CPK = 2,7 \text{ Pts/km. (***)}$

b) Camiones

- Hipótesis: . Recorrido medio anual: 73.500 Km.
- . Vida útil : 8 años
 - . Precio inicial = $6,8 \cdot 10^6$ Pts.
 - . Precio final: $1,02 \cdot 10^6$ Pts. (**)
 - . Depreciación imputable al recorrido: 50%.

$CPK = 4,91 \text{ Pts/Km, (***)}$

(*) Corresponden a valores medios en enero 88

El precio inicial es el P.F.F. sin impuestos ni gastos adicionales que representan en la realidad un precio final de 1.420.000 Pts.

(**) El precio final vida útil es el precio resultante de quitar un 15% (reparación + beneficio industrial) al precio de de vehículos usados.

(***) Para el usuario el coste medio es sin embargo de 7,88 Pts/Km. (turismo) y 9,82 Pts/Km (camiones).

3.3.1.2. GASTOS DE CONSERVACION⁽¹⁾⁽²⁾

Como gastos de conservación tenemos los siguientes:

- Frenos
- Lubricantes
- Puesta a punto
- Pequeñas reparaciones.

A) Turismos

El coste viene dado por

$$\boxed{CPK = 17,22 \cdot v^{-0,44}} \quad (\text{Pts/Km enero 88})$$

siendo v la velocidad de recorrido en Km/h⁽³⁾

Tabulando la fórmula anterior tenemos:

Velocidad	Coste(CPK)	Pts/Km.
30	3,85	
40	3,40	
50	3,08	
60	2,84	
70	2,66	
80	2,50	
90	2,38	
100	2,27	
110	2,18	

Su coste oscila entre 2,18 y 3,85 ptas/Km. siendo un valor medio 2,5 (a 80 Km/h).

-
- (1) Como gastos de conservación se recogen los epígrafes mantenimiento y reparaciones y repuestos (página 8)
- (2) Al igual que sucede con la amortización existe poca bibliografía sobre el tema en España, siendo preciso la pronta realización de estudios que permitan cuantificar tan importantes partidas.
- (3) Velocidad media de recorrido excluyendo los tiempos de parada o velocidad específica del tramo cuando en el mismo exista una limitación legal de la velocidad (caso de travesías).

B) Pesados

Se utilizará la curva de la FIGURA 1 obtenida -- actualizando a Enero de 1988 los datos de la encuesta y Diarios de operaciones realizada para el estudio de costes de funcionamiento de turismo y camiones en España.⁽¹⁾

COSTES DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO CAMIONES

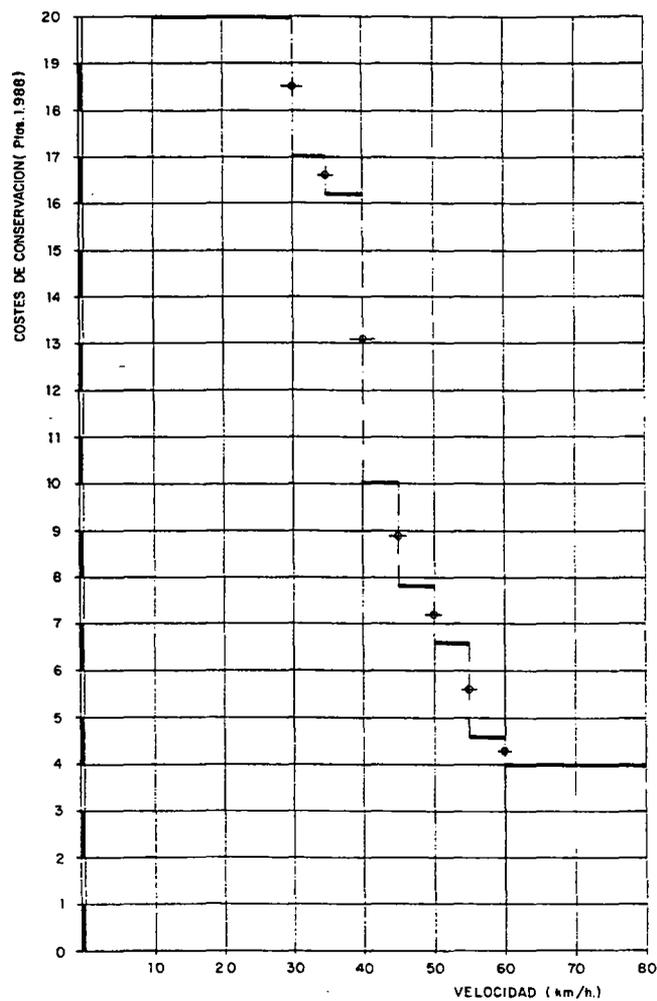


FIGURA 1

(2)

Su coste oscila entre 4 y 20 Ptas, siendo la media de 7,2 Pts/km.

(1) MOPU-SENDA 3. Coste de funcionamiento de vehículos en carretera.

(2) Velocidad de circulación de vehículos pesados excluyendo tiempos de parada y limitación de velocidad.

3.3.1.3. CONSUMO DE COMBUSTIBLES

Es junto a la partida anterior la que más variaciones presenta en función de la geometría.

De todos los estudios existentes adoptaremos las curvas del estudio mencionado de costes de funcionamiento en España, por cuanto son las primeras y únicas existentes específicamente para nuestro parque de vehículos y nuestras carreteras, siendo las que en la actualidad ofrecen un mayor ajuste.

Las fórmulas que ligan el consumo en función de la inclinación y de la velocidad de recorrido son las siguientes:

A) TURISMOS

- Rampa

$$C=117,58-1,76 V + 1,21 \cdot 10^{-2} V^2 + 24,09 \cdot p - 0,47 \cdot V \cdot p + 4,74 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 \cdot p$$

C= consumo en c.c. por Km.

V= velocidad de recorrido en Km./h.

p= inclinación en % (+)

- Pendiente

$$C=92,76-1,3 \cdot V + V^2 \cdot 10^{-2} - 6,77 \cdot p + 0,33 \cdot p \cdot V - 2,45 \cdot 10^{-3} \cdot p \cdot V^2$$

p = inclinación en % (-)

B) CAMIONES . Se utilizan las curvas correspondientes a media carga ⁽¹⁾- Rampa

$$C=388,18-7,32 \cdot V + 7 \cdot 10^{-2} \cdot V^2 + p \left[101,28 + 1,99 \cdot 10^{-2} \cdot V + 7,85 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 \right]$$

(1) Caso de disponer del porcentaje de vehículos cargados, media carga y vacíos se pueden aplicar las curvas específicas para cada caso. No obstante, ésta es suficiente aproximación.

- Pendiente

$$C=213,31-6,15.V+7,42.10^{-2}.V^2+p\left[6,08+3,82.10^{-2}.V+7,27.10^{-4}.V^2\right]$$

(las variables tienen aquí idéntico significado que en el caso de turismos).

Para mayor facilidad en las páginas siguientes aparece grafiadas las curvas anteriores (FIGURA 2 : TURISMOS y FIGURA 3 : CAMIONES).

CURVAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE TURIMOS, RAMPAS Y PENDIENTES.

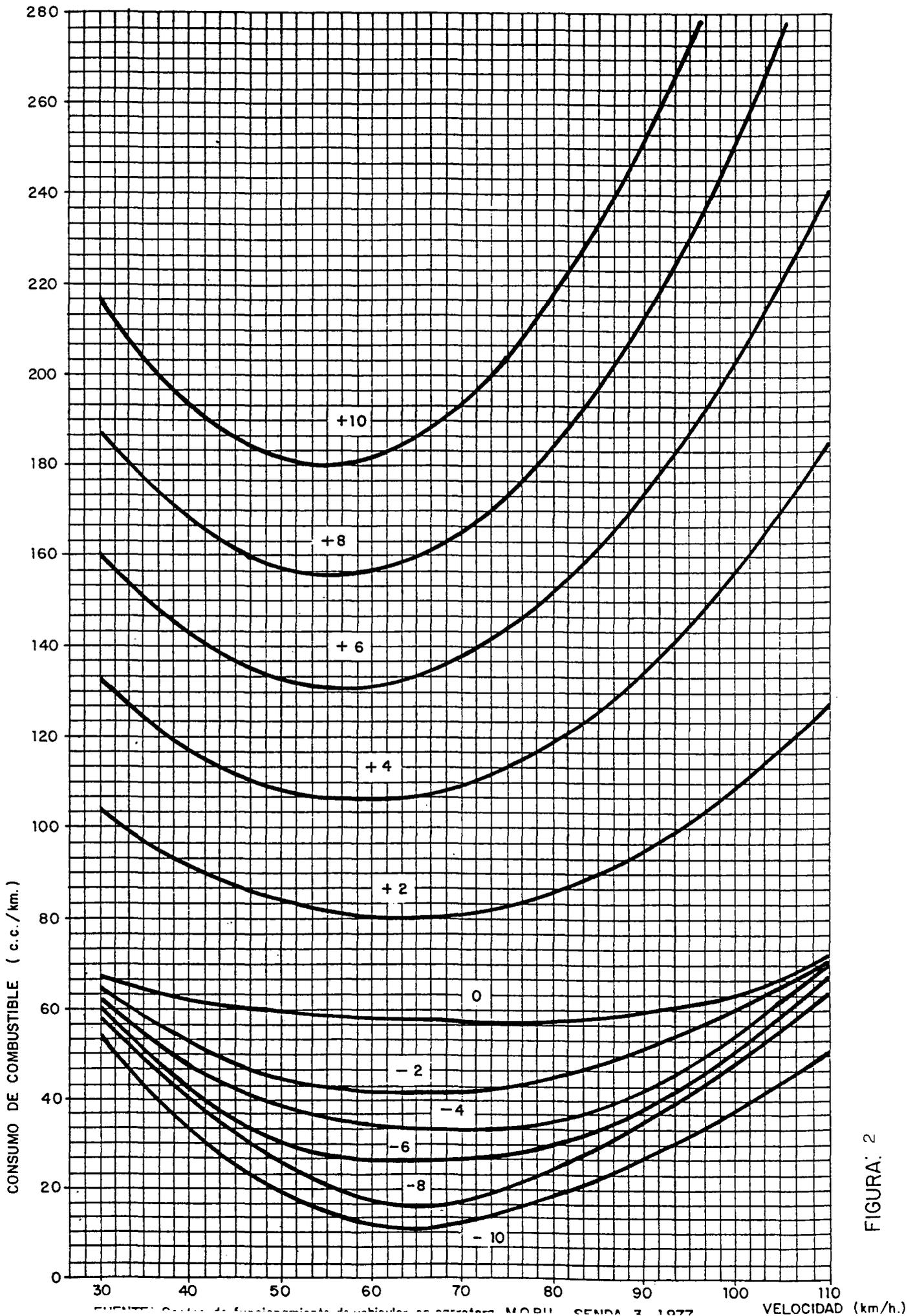
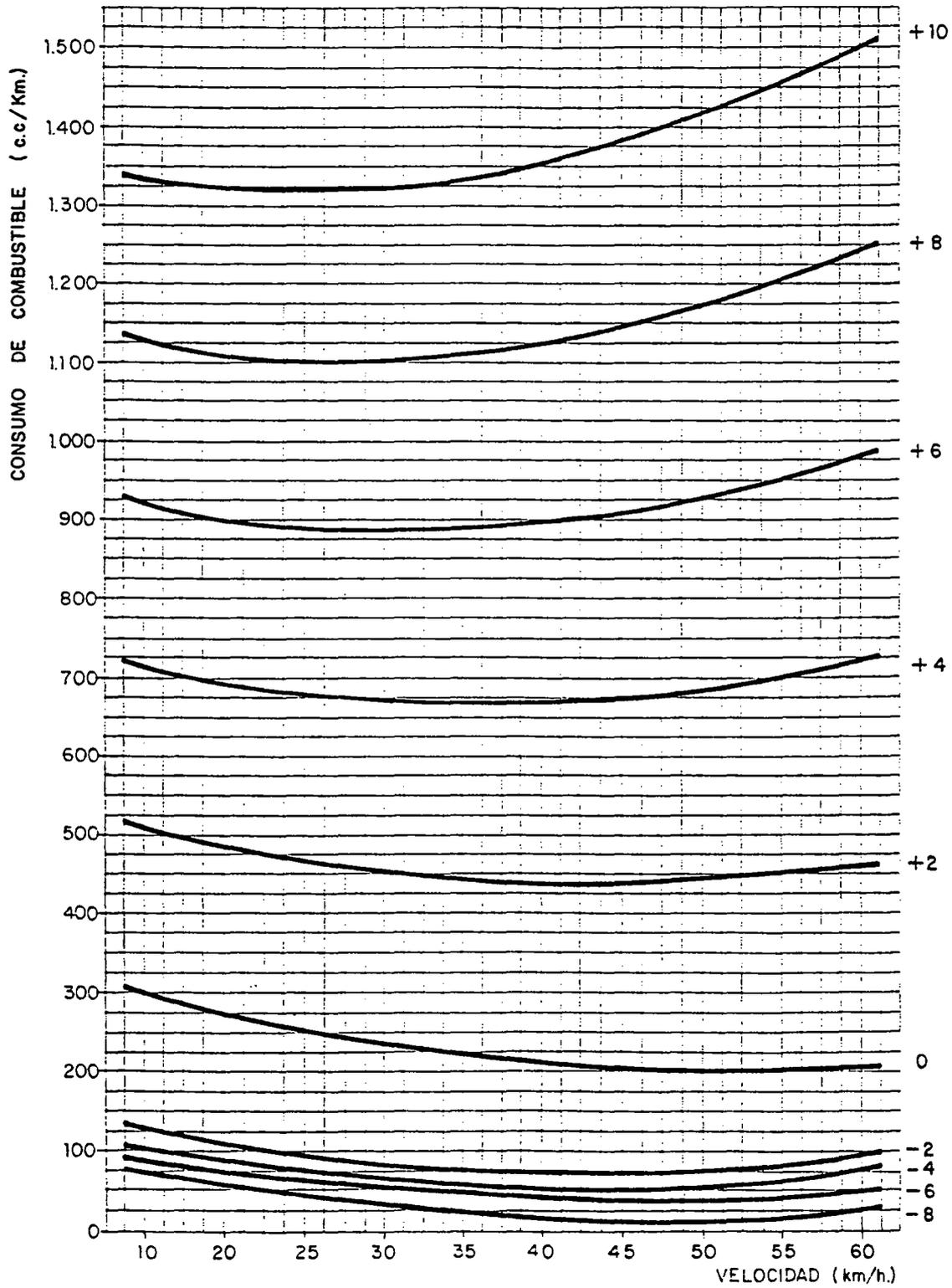


FIGURA: 2

CURVAS DE COSUMO DE COMBUSTIBLE CAMIONES CON CARGA MEDIA RAMPAS Y PENDIENTES.



FUENTE: Costes de funcionamiento de vehiculos en carretera.
M.O.P.U.- SENDA - 3. 1977

FIGURA: 3

PRECIOS DE COMBUSTIBLES

Al igual que en el resto de los apartados el precio de los combustibles es sin impuestos (Impuesto sobre hidrocarburos e IVA), ya que dichos impuestos son meras transferencias entre sectores económicos y no suponen un consumo de recursos para la colectividad.

Los valores a aplicar en la actualidad⁽¹⁾ son los siguientes:

Gasolina	31,66 Pts/l. (2)
Gas-Oil	33,79 Pts/l.

COSTES DE COMBUSTIBLES

$$CPK = C \cdot P$$

CPK = Coste / Km.

C = Consumo en c.c. según las fórmulas y gráficos anteriores.

P = Precio en Ptas/c.c.

- * Como ordenes de magnitud señalaremos que los turismos presentan un coste de 2 Pts/Km. (a 70 Km/h y pendiente 0%) pudiendo llegar a 6 Pts/Km. (90 Km./h y rampa del 6%).
- * Los camiones presentan un coste medio de 7,1 Pts/km. (0% de pendiente, media carga y velocidad entre 40 y 60 Km/h) pudiendo alcanzar las 75 Pts/Km. (rampa de +6% y plena carga).

(1) Fuentes: "Memoria del Gabinete de Estudios de la Delegación del Gobierno en Campsa" y la propia Delegación.

(2) El precio de la gasolina se obtiene como media ponderada de los precios sin impuestos de la SUPER (32,64 Pts/l) y de la NORMAL (27,29 Pts/l.) siendo sus consumos respectivos el 81,66% y el 18,34%.

3.3.1.4. GASTOS DE LUBRICANTES

El consumo de aceite está relacionado directamente con el consumo de combustible y empíricamente responde a las siguientes expresiones:

A) TURISMOS

$$\text{C.P.K.} = 0,012 \cdot C \cdot \text{PA}$$

siendo C.P.K. = Coste de aceite por kilómetro en turismos.

C = Consumo de gasolina según 3.1.1.3. en litros

PA = precio de aceite sin impuestos =
= 340 Pts/l. (Enero 88).

B) CAMIONES

$$\text{C.P.K.} = 0,008 \cdot C \cdot \text{PA}$$

siendo C.P.K.= coste de aceite por Km. en camiones.

C = consumo de gas-oil según 3.1.1.3. en litros.

PA = precio de aceite sin impuestos=380 Pts/l.

* Como ordenes de magnitud indicaremos que el coste de aceite del turismo es 0,24 pts/Km (a 90 Km/h y pendiente 0%) y en los camiones de 0,64 pts/km (a 40 Km/h, media carga y pendiente 0%).

3.3.1.5. GASTOS DE NEUMATICOS

Aunque pueden utilizarse valores medios (40.000 Km. - turismos y 65.000 Km - camiones) en la página siguiente se ha recogido para turismos y para camiones (Tabla 1) el recorrido para el cambio de neumáticos (R) según la velocidad básica de la carretera, el nivel de servicio y el tipo de terreno⁽¹⁾.

El coste por kilómetro viene dado por:

A) TURISMOS

$$CPK = \frac{P_4}{R_\tau}$$

CPK = coste por kilómetro

P_4 = precio de 4 ruedas. Las 4 ruedas de los vehículos-tipo (165 x 70 x 13) tienen un precio de 31.144 pts. (Enero 88. Sin impuestos).

R_τ = recorrido entre cambios de ruedas. Tabla 1

B) CAMIONES

$$CPK = \frac{P_6}{R_c}$$

CPK= coste por kilometro

P_6 = Precio sin impuestos de las 6 ruedas tipo del vehículo= 426.834 pts (enero 88)

R_c = recorrido medio. Tabla 1



(*) Como orden de magnitud señalaremos que los turismos presentan un coste medio de 0,78 pts/km y los camiones de 6,6 pts/km.

(1) Costes de funcionamiento de vehículos por carretera.

TABLA 1 . - CAMBIO DE NEUMATICOS SEGUN CARACTERISTICAS DE TRAFICO Y DE LA CARRETERA

A) TURISMOS

VELOC. BASICA	NIVEL DE SERVICIO	CAMBIO DE NEUMATICOS (KM) - R_T			
		RECTO Y LLANO	RECTO Y ONDULADO	CURVAS Y ACCIDENT.	MUCHAS CURVAS Y MUY ACCIDENTADO
30	A	103000	100000	55600	33300
	B-C	77000	77000	50000	28600
	D	50000	43500	28600	15900
40	A	100000	77000	55600	30300
	B-C	77000	66700	43500	25000
	D	43500	40000	26300	15400
50	A	77000	77000	50000	28600
	B-C	77000	67000	43000	25000
	D	50000	43000	30000	17200
60	A	66700	66700	43500	23000
	B-C	66700	55600	40000	22000
	D	43000	40000	25000	15700
70	A	55600	55600	33300	20000
	B-C	55600	50000	33300	18900
	D	40000	35700	23250	13300
80	A	50000	43500	28600	15900
	B-C	50000	43500	28600	15900
	D	35700	33300	20800	12050
90	A	40000	35700	22222	-
	B-C	43500	40000	25000	-
	D	33300	30300	20000	-
100	A	29600	26300	-	-
	B-C	33300	30300	-	-
	D	26600	25000	-	-

B) CAMIONES

VELOC. BASICA	NIVEL DE SERVICIO	CAMBIO DE NEUMATICOS (KM) - R_C			
		RECTO Y LLANO	RECTO Y ONDULADO	CURVAS Y ACCIDENT.	MUCHAS CURVAS Y MUY ACCIDENTADO
30	A	166.700	125.000	71.400	41.700
	B-C	142.900	111.100	66.700	37.000
	D	90.900	66.700	38.500	22.000
40	A	166.700	125.000	66.700	38.500
	B-C	125.000	90.900	52.600	29.400
	D	76.900	58.800	32.300	18.900
50	A	142.900	111.100	58.800	34.500
	B-C	125.000	90.900	52.600	30.300
	D	83.300	62.500	35.700	20.400
60	A	125.000	90.900	50.000	29.400
	B-C	111.100	83.300	45.500	26.300
	D	71.400	55.600	32.300	18.500
70	A	100.000	76.900	41.700	24.400
	B-C	90.900	71.400	40.000	22.700
	D	66.700	52.600	29.400	16.700

3.3.2. Coste del tiempo de recorrido

La disminución del tiempo de recorrido es el aspecto más relevante de la serie de beneficios generados por realizar un nuevo proyecto pudiendo alcanzar en ocasiones el 70 - 80 % de los mismos.

La expresión del coste es para cada alternativa la siguiente:

$$C P T = T . P$$

CPT	Coste por tiempo del tramo
T	Tiempo de recorrido del tramo en horas
P	Valor del tiempo en Pts/hora.

El tiempo, como beneficio, es la consecuencia de las mejoras introducidas en cada una de las alternativas sobre la situación actual. Esa disminución del tiempo de recorrido se traduce en una mejora en unos casos directamente cuantificable (viajes de trabajo) y en el resto como la cantidad que los usuarios están dispuestos a pagar por los beneficios derivados. Estos no se reducen exclusivamente al tiempo ya que su disminución es debido a un aumento en la calidad de la oferta que a su vez se traduce en un mejor nivel de servicio y por ende mayor comodidad y seguridad.

- El tiempo invertido (ligeros y pesados) se tiene en las características generales de cada alternativa.

- Como valor del tiempo se adoptarán los siguientes (1)

(1) Siendo el valor más determinante es sin embargo el que presenta una mayor dificultad su cuantificación y en particular el caso de los turismos.

Por ello es importante proceder a un análisis de sensibilidad sobre el valor del tiempo (+ 20%) en los turismos.

A) TURISMOS

Las hipótesis para la determinación del valor del tiempo en cada vehículo de turismo son las siguientes:

- % viajes negocio y/o transporte 38%⁽¹⁾
- Ocupación " " " 1,71 plazas/veh.)⁽¹⁾
- % viajes Recreo +ocio+desplaz.trabajo-domicilio = 62%⁽¹⁾
- Ocupación " " " " " = 2,26 plazas/veh.⁽¹⁾
- Coste medio hora trabajada = 835,2⁽²⁾
- Incremento costes a cargo de la patronal = 30,6%⁽³⁾
- Precio virtual = disposición a pagar por una hora que no sea motivo de trabajo= 220,4 pts/hora^{(4) (5)}

$$P = 220,4 \times 0,62 \times 2,26 + 0,38 (835,2 \times 1,306 + 0,71 \cdot 220,4$$

$P = 783 \text{ ptas/ veh- hora}$	(6)
-----------------------------------	-----

-
- (1) Encuesta de pantalla del MOPU realizadas para el Plan General de Carreteras. Tomos 4.1 Avance.
 - (2) Proyección para 1988 a partir de los datos del Banco de España.Feb.1988
 - (3) Real Decreto 1683/87 de 23 de diciembre.
 - (4) Jesús Sauras: Evaluación de proyectos de carreteras (1986)
 - (5) Este valor se imputa tanto a los viajes de ocio, etc. como a los acompañantes por motivo de trabajo.
 - (6) Este valor es medio entre el propuesto por TEMA, que asume el dato francés y lo multiplica por la relación existente entre los PIB por persona español y francés y los obtenidos por otros métodos como por ejemplo la disposición a pagar, en base a la situación actual - carretera - autopista de peaje.

B) PESADOS

% camiones % sobre el total de pesados = 94,1%⁽¹⁾

Coste sin seguros del salario medio = 712,9 ptas/hora⁽²⁾

Incremento por seguros que paga la patronal = 30,6%⁽³⁾

Ocupación media del vehículo pesado = 1,19⁽¹⁾

% autocares sobre el total de pesados = 5,9%⁽¹⁾

Ocupación media de los autocares = 27,3 personas⁽¹⁾

Coste medio pasajero-hora (1988) = 167,36⁽⁴⁾

$$P = 0,941 \cdot 712,9 \cdot 1,306 \cdot 1,19 + 0,059 \cdot (712,9 \cdot 1,306 + 26,3 \cdot 167,4)$$

$P = 1357,2 \text{ Ptas/ veh.-hora}$

(1) Encuestas pantalla 1983 realizadas para el Plan Nacional de Carreteras (Tomo 4.1. Avance).

(2) Proyección a partir de datos del Banco de España. Febrero 1988 (Para turismos se cojen todos los sectores y en pesados, solo el sector Transportes).

(3) Real Decreto 1683/87 de 23 de diciembre

(4) Coste de pasajero de autobuses según el estudio de TEMA.

3.3.3. Coste de los accidentes

Los accidentes representan uno de los elementos negativos - más importantes asociados al transporte y que en consecuencia hay que minimizar.

Su consideración a la hora de abordar un nuevo proyecto de carreteras se efectúa de una doble forma:

a) CUANTITATIVA: Supone la imputación a cada uno de las alternativas de los costes reales por accidentes que se producen en las mismas y de las que se hacen cargo los usuarios directamente y subdidia riamente a través del seguro obligatorio y de los seguros privados concertados.

Su valoración entra en el análisis Coste-Beneficio para cada año y alternativa de la forma siguiente:

$$CPA = NM \cdot CM + NH \cdot CH$$

CPA = Coste por accidentes en el tramo completo durante 1 año

NM = N° de muertos durante un año en el tramo

NH = N° de heridos " " " "

CM = Coste unitario medio un muerto

CH = " " " " herido

B) CUALITATIVA: Viene dada por la propia seguridad que ofrece la carretera y por tanto es inversamente proporcional al n° de accidentes que se producen en la misma.

Este aspecto quedará recogido como una más de las características que tiene cada alternativa al efectuar su descripción global.

Hay que tener en cuenta que su cuantificación (punto a) es

sólo el aspecto económico que además es poco relevante en el conjunto del coste-beneficio, mientras que su importancia social trasciende lo estrictamente monetario.

3.3.3.1. DETERMINACION DEL NUMERO DE ACCIDENTES

Resulta preferible determinar directamente el nº de muertos y heridos que los índices de peligrosidad y mortalidad porque los costes unitarios están referidos a los primeros.

Hipótesis: El nº de accidentes para cada año y alternativa son los producidos en el año base multiplicados por el incremento de tráfico (Esta hipótesis equivale a decir que los índices de peligrosidad y mortalidad no varían a lo largo del período de análisis).

A) SITUACION ACTUAL

El nº de muertos y heridos de la carretera actual puede determinarse de la siguiente forma:

A.1. Consultando los partes de tráfico de los cinco últimos años y haciendo una media del nº de muertos y de heridos en el tramo.

Dichos partes son remitidos por los distintos Servicios de Carreteras y están archivados en el Servicio de Seguridad Vial de la Dirección General de Carreteras.

Es el método óptimo por cuanto tenemos el conocimiento exacto.

A.2. Utilizando las Memorias de Accidentes de la Dirección General de Carreteras.

Para ello se debe utilizar el RESUMEN DE ACCIDENTES CON VICTIMAS donde viene el nº de accidentes, muertos y heridos por carretera y provincia, pudiendo mejorarse esta información con los puntos que tienen más de tres accidentes. Se ajustan los valores medios de la carretera en la provincia con las singularidades (más de 3 accidentes) del tramo concreto.

B) NUEVAS ALTERNATIVAS

Disponemos de dos métodos

B1. ESTADISTICO

Aplicar según el tipo de carretera (Autopista peaje, libre, carretera convencional con y sin travesías) y provincia el índice -- mortalidad y peligrosidad medio.

En la página siguiente se ha recogido (Tabla 2) estos datos figurando entre paréntesis los índices de mortalidad (IM) y peligrosidad (IP) en la RIGE sin autopistas de peaje y excluyendo las travesías;

A partir de estos índices IM e IP determinamos el nº de -- muertos (NM) y de heridos (NH) mediante las expresiones

$$NM = 365 \cdot IMD \cdot L \cdot IM \cdot 10^{-8}$$

$$NH = N \cdot K = K \cdot 365 \cdot IMD \cdot L \cdot IP \cdot 10^{-8}$$

siendo N el nº de accidentes,
K el nº de heridos por --
accidente y L la longitud del
tramo.

T I P O	$K = \frac{\text{nº heridos}}{\text{nº accidentes}}$
Carretera convencional	1,82
Autopista libre	1,65
Autopista peaje	1,75
TOTAL RIGE	1,81

(Memoria de Accidentes de la D.G.C.)

Para aquellas provincias que carezcan de información pueden utilizarse las medias nacionales

	Autopistas y Autovías	RIGE sin autopistas	
		Con travesías	Sin travesías
IP	23	47	38
IM	3,28	5,49	4,88

INDICES DE MORTALIDAD POR PROVINCIAS 1.985 IM

INDICES DE PELIGROSIDAD POR PROVINCIAS 1.985 IP

	NR DE MUERTOS R. I. G. E.					INDICES DE MORTALIDAD	
	AUTOPISTAS		RESTO ESTADO	DE ELLOS (TRAVESIAS)	TOTAL RIGE	RIGE SIN A. PEAJE	
	PEAJE	LIBRES				A. PEAJE	A. PEAJE
ALAVA	13	-	-	-	13	0	5,66
ALBACETE	-	-	47	(6)	47	47	-
ALICANTE	10	-	100	(11)	110	100	4,57
ALMERIA	-	-	49	(7)	49	49	-
AVILA	1	-	16	(1)	17	16	2,42
BADAJOS	-	-	31	(2)	31	31	-
BALEARES	-	-	-	-	-	-	-
BARCELONA	30	4	61	(22)	95	65	1,81
BURGOS	7	-	72	(15)	79	72	4,21
CACERES	-	-	20	(3)	20	20	-
CADIZ	3	-	21	(2)	24	21	5,49
CASTELLON	19	-	55	(6)	74	55	5,25
CIUDAD REAL	-	-	54	(2)	54	54	-
COROBA	-	-	31	(2)	31	31	-
LA CORUÑA	1	-	64	(7)	65	64	0,82
CUENCA	-	-	46	(3)	46	46	-
GERONA	10	-	51	(9)	61	51	2,24
GRANADA	-	-	27	(2)	27	27	-
GUADALAJARA	-	-	31	(0)	31	31	-
GUIPUZUA	9	-	-	-	9	0	3,30
HUELVA	-	-	25	(0)	25	25	-
HUESCA	5	-	24	(3)	29	24	4,17
JAEN	-	-	38	(1)	38	38	-
LEON	3	-	54	(20)	57	54	5,65
LERIDA	5	-	42	(2)	47	42	2,56
LA RIOJA	7	-	24	(2)	31	24	6,85
LUGO	-	-	54	(1)	54	54	-
MADRID	1	7	178	(9)	186	185	1,32
MALAGA	-	-	93	(14)	93	93	-
MURCIA	-	0	80	(18)	80	80	-
NAVARRA	5	-	-	-	5	-	11,15
ORENSE	-	-	57	(8)	57	57	-
ASTURIAS	1	5	102	(14)	108	107	5,24
PALENCIA	-	-	31	(5)	31	31	-
LAS PALMAS	-	-	-	-	-	-	-
PONTEVEDRA	1	-	65	(10)	66	65	1,23
SALAMANCA	-	-	39	(1)	39	39	-
STA. CRUZ	-	-	-	-	-	-	-
CANTABRIA	-	4	59	(6)	63	63	-
SEGOVIA	4	-	11	(0)	15	11	3,23
SEVILLA	1	-	44	(5)	45	44	1,24
SORIA	-	-	18	(1)	18	18	-
TARRAGONA	25	-	47	(5)	72	47	3,43
TERUEL	-	-	15	(1)	15	15	-
TOLEDO	-	-	60	(4)	60	60	-
VALENCIA	14	9	85	(4)	108	94	5,90
VALLADOLID	-	-	58	(8)	58	58	-
VIZCAYA	3	-	-	-	3	0	1,23
ZAMORA	-	-	31	(5)	31	31	-
ZARAGOZA	12	5	90	(8)	107	95	6,19
TOTAL	190	34	2.200	(248)	2.424	2.234	3,28

* Valores de 1.985 incrementados un 5%

	ACCIDENTES CON VICTIMAS R. I. G. E.					INDICES DE PELIGROSIDAD R. I. G. E.	
	AUTOPISTAS		RESTO ESTADO	DE ELLOS (TRAVESIAS)	TOTAL RIGE	RIGE SIN A. PEAJE	
	PEAJE	LIBRES				A. PEAJE	A. PEAJE
ALAVA	55	-	-	-	55	-	37
ALBACETE	-	-	332	(42)	332	332	-
ALICANTE	52	-	757	(184)	809	757	24
ALMERIA	-	-	554	(209)	554	554	-
AVILA	13	-	178	(30)	191	178	31
BADAJOS	-	-	214	(87)	314	314	-
BALEARES	-	-	-	-	-	-	-
BARCELONA	258	73	792	(208)	1.133	865	15
BURGOS	62	-	581	(176)	643	581	37
CACERES	-	-	197	(19)	197	197	-
CADIZ	7	-	464	(60)	471	464	13
CASTELLON	126	-	325	(30)	451	325	35
CIUDAD REAL	-	-	302	(22)	302	302	-
COROBA	-	-	330	(31)	330	330	-
CORUÑA	23	-	511	(95)	534	511	19
CUENCA	-	-	330	(23)	330	330	-
GERONA	45	-	433	(120)	478	433	16
GRANADA	-	-	316	(31)	316	316	-
GUADALAJARA	-	-	246	(3)	246	246	-
GUIPUZUA	57	-	-	-	57	-	21
HUELVA	-	-	162	(8)	162	162	-
HUESCA	27	-	182	(47)	209	182	23
JAEN	-	-	406	(48)	406	406	-
LEON	15	-	551	(234)	566	551	28
LERIDA	67	-	376	(54)	443	376	34
LA RIOJA	41	-	219	(28)	260	219	40
LUGO	-	-	318	(28)	318	318	-
MADRID	13	155	1.499	(47)	1.667	1.654	17
MALAGA	-	-	885	(217)	885	885	-
MURCIA	-	2	617	(176)	619	619	-
NAVARRA	14	-	-	-	14	-	31
ORENSE	-	-	299	(57)	299	299	-
ASTURIAS	5	51	735	(180)	795	790	26
PALENCIA	-	-	205	(15)	205	205	-
LAS PALMAS	-	-	-	-	-	-	-
PONTEVEDRA	12	-	449	(64)	461	449	15
SALAMANCA	-	-	374	(194)	374	374	-
STA. CRUZ	-	-	-	-	-	-	-
CANTABRIA	-	4	620	(126)	624	624	-
SEGOVIA	31	-	141	(12)	172	141	25
SEVILLA	21	-	379	(94)	400	379	26
SORIA	-	-	179	(33)	179	179	-
TARRAGONA	215	-	551	(106)	766	551	29
TERUEL	-	-	186	(28)	186	186	-
TOLEDO	-	-	479	(71)	479	479	-
VALENCIA	71	65	761	(65)	897	826	30
VALLADOLID	-	-	253	(40)	253	253	-
VIZCAYA	54	-	-	-	54	-	22
ZAMORA	-	-	258	(40)	258	258	-
ZARAGOZA	65	27	574	(67)	666	601	34
TOTAL	1.359	377	18.524	(3.449)	20.360	19.001	23

TABLA 2

B2) CON MODELO DE ACCIDENTES

Aplicando un modelo de accidentes que relacione la geometría de cada una de las alternativas nuevas con la de la situación actual⁽¹⁾

El incremento de accidentes (Δ) así obtenido se multiplica por el nº de muertos y heridos de la situación actual para obtener los de la alternativa en estudio.

$$\Delta = (P_2/P_1)^{0,5305} \times (FP_2/FP_1)^{0,5594} \times (A_2/A_1)^{0,9647} \times (FC_2/FC_1)^{-0,5639} \cdot (R_2/R_1)^{-0,4702}$$

siendo

P= inclinación longitudinal media

FP= Cambios de rasante/Km.

A = Anchura total. Nº calzada x (ancho calzada + arcenes)

FC= Nº de curvas /Km.

R= radio de curvatura.

Los subíndices 1 y 2 corresponden respectivamente a la carretera actual y a las nuevas alternativas.

(1) Antonio Serrano. Análisis y Evaluación de las Desventajas Sociales de los Accidentes en carretera. Tesis doctoral. Madrid 1978.

3.3.3.2. COSTE UNITARIO DE LOS ACCIDENTES

Los valores a emplear es la predicción existente para 1988⁽¹⁾ a partir de datos de 1987 por las compañías de seguros⁽²⁾.

No obstante estas cantidades tendrán que ir incrementándose en los próximos años para adaptarse a las existentes en Mercado Común - Europeo que llega a ser 10 veces superior a las españolas.

Los valores a emplear varían de unas zonas a otras de España en función de las primas concertadas.

En la figura de la página siguiente se recogen geográficamente las 4 zonas en que está dividido el territorio español.

Costes unitarios (Ptas 1988) (3) (4)

ZONA	MUERTO (M)	HERIDO (H)
A	3.596.494	1.081.445
B1	4.583.054	2.505.351
B2	4.583.054	2.350.352
C	4.419.244	951.061

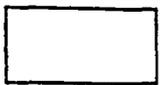
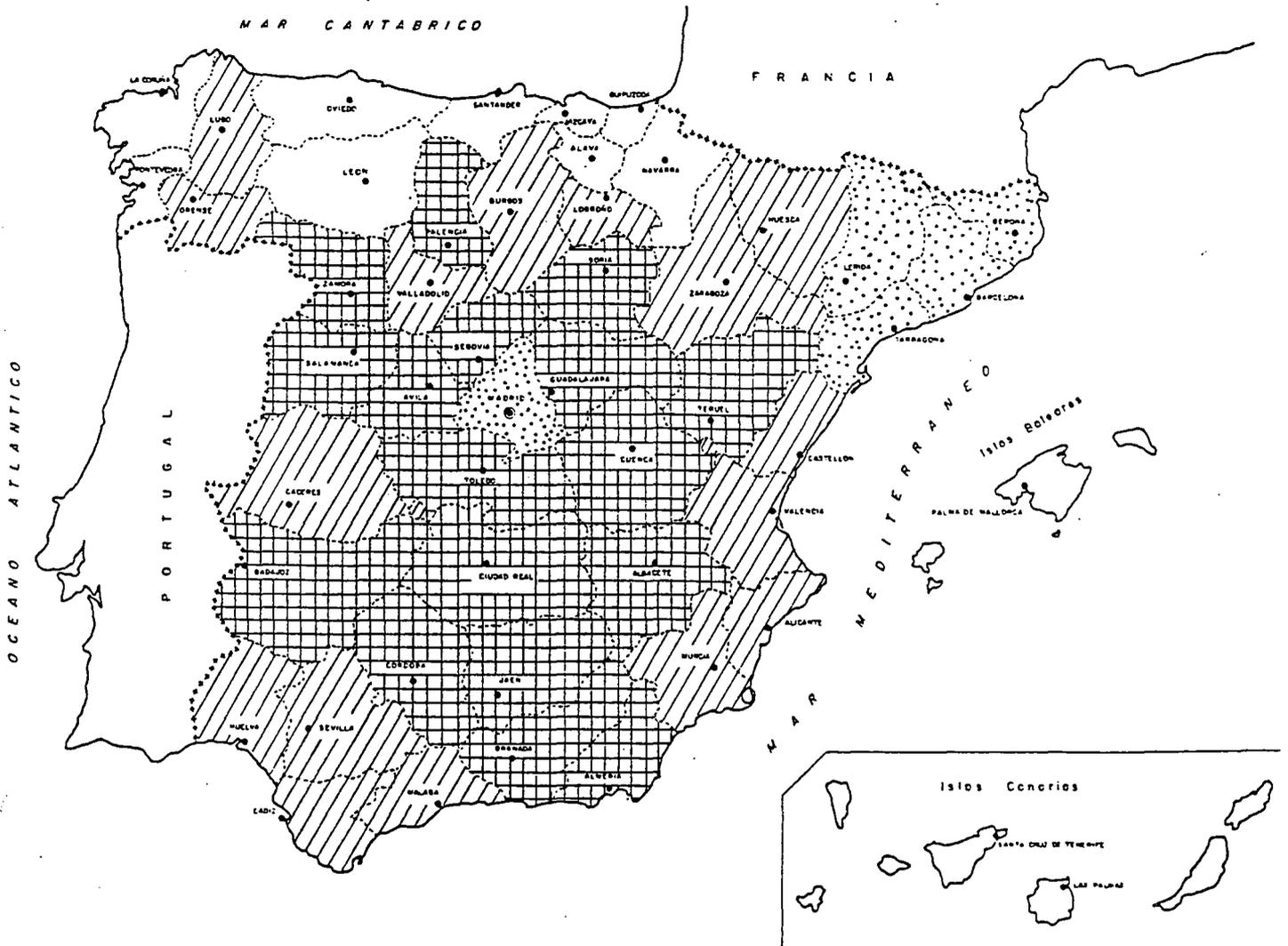
(1) El incremento supuesto respecto a 1987 es de un 5,5%

(2) Unión y El Fenix, UNESPA, ICEA

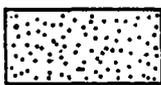
(3) Los costes del herido medio se hacen en función de la frecuencia de cada caso (hay 12 tipos de secuelas) o por la forma de acuerdo --- (transacción voluntaria o por sentencia judicial) y recogen la indemnización, baja laboral y baja hospitalaria.

(4) Destacan estos datos reales con los normalmente utilizados que son muy superiores.

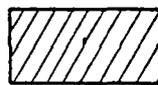
ZONAS GEOGRAFICAS - ACCIDENTES



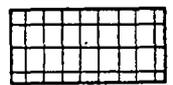
A



B-1



B-2



C



4. CRITERIOS E INDICADORES DE RENTABILIDAD ECONOMICA. TASA DE ACTUALIZACION.

Para cada uno de los años de vida útil del proyecto se ha determinado, conforme a lo indicado en el punto, 3 los costes y beneficios de cada alternativa.

El coste anual C_i de cada alternativa es la diferencia entre el coste de inversión, conservación, etc de ese año, entre la alternativa analizada y la opción cero (Alternativa o situación actual).

El beneficio anual b_i de cada alternativa es la diferencia entre los costes generalizados de transporte (funcionamiento, tiempo y accidentes) para cada año entre la opción cero y la alternativa en estudio.

La serie de costes y beneficios se hacen en pesetas constantes del año en que se realiza o calcula el proyecto⁽¹⁾

Pese a estar toda la serie (de costes y beneficios) en pesetas constantes (idéntico poder adquisitivo) hay que proceder a situar esas cantidades en su auténtico valor preferencial en el tiempo. Ello quiere decir que es preferible una liquidez en el momento presente con una cantidad menor, que disponer de la cantidad completa al cabo de un tiempo. Por ello se procede a actualizar o descontar al año cero del proyecto todas las cantidades que constituyen la serie temporal.

4.1. Tasa de actualización o descuento

Dicho valor debiera ser determinado por el M^o de Economía y

(1) Este año no tiene porqué coincidir con el año de puesta en servicio. Solamente habrá que indicar a que año están referidas la unidad monetaria elegida (pesetas).

Podría hacerse los cálculos en pesetas corrientes de cada año lo cual introduciría una mayor complejidad en los cálculos.

Hacienda pero ante la ausencia del mismo, el valor a adoptar en proyectos de carreteras es del 6%.

TASA DE ACTUALIZACION = 0,06 (6%)

la justificación de dicho valor es la siguiente:

1. En el mercado bursátil de Deudas del Estado las emisiones que se mantienen en paridad (100) son aquellas cuyo interés, restando la inflación del año, se aproximan al 6%⁽¹⁾ (2).
2. Es la tasa adoptada en el resto de manuales del sector transportes en España (puertos, aviones, ferrocarril).

4.2. Indicadores

Los indicadores de rentabilidad económica a utilizar se pueden dividir en dos grandes grupos: 1) los que dependen de la tasa de actualización, 2) Los que no dependen.

4.2.1. Indicadores que varían con la Tasa de Actualización:

Son las siguientes:

VAN=VALOR ACTUALIZADO NETO

B/C = RELACION BENEFICIO - COSTE

P.R.I. = PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION

-
- (1) Cotización del 12 a 22 de enero de 1988. Las obligaciones con fecha de emisión 30-7-86 e interés nominal 10,65% se cotizaban a la par. $10,65\% - 4,6\% = 6,05\%$. Dicho análisis se ha mostrado valido durante el primer trimestre del año 88, oscilando la tasa resultante entre 5,2% y 6,1%. Puede hacerse un análisis de sensibilidad con tasas del 5 y 7%.
 - (2) Dicho argumento situa la tasa de descuento como interés del dinero en el mercado libre y por tanto permite comparar proyectos de la Administración y empresa privada. No obstante debiera disponerse del valor real del COSTE DE OPORTUNIDAD para así contemplar las necesidades que debe cubrir el Estado.

4.2.1.1. VAN. VALOR ACTUALIZADO NETO

El VAN se define como diferencia entre el beneficio actualizado neto y el coste actualizado neto.

$$\text{VAN} = \text{BAN} - \text{CAN} = \sum_{1}^{n} \frac{b_i}{(1+r)^{i-1}} - \sum_{-t_0}^{n} \frac{C_i}{(1+r)^{i-1}}$$

BAN = Beneficio actualizado neto (de la alternativa frente a la opción cero).

CAN = Coste actualizado neto (de la alternativa frente a la opción cero)

n = vida útil (en general 30 años)

r = tasa de actualización (6%)

b_i = beneficios en el año i de la alternativa (3^{er} párrafo del punto 4).

C_i = costes " " " " (2^o párrafo del punto 4).

t_0 = año en que comienza la inversión (1^a anualidad) y que dura hasta el año cero, fecha de terminación de la obra,

El VAN se expresa en millones de ptas. del año que se efectúa el análisis y actualizado en el año en que entra en funcionamiento la obra (1).

4.2.1.2. B/C. RELACION BENEFICIO - COSTE

Es la relación entre el beneficio actualizado neto y el coste actualizado neto.

(1) Si se quiere referir la obra al momento presente para PROGRAMAR situarlo en el tiempo el momento óptimo de las inversiones, basta actualizar al año de análisis y no al año de puesta en funcionamiento.

Es una cantidad adimensional que expresa el rendimiento obtenido por cada peseta invertida.

$$B/C = \frac{BAN}{CAN}$$

4.2.1.3. P R I . PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION

Es el año para el cual el conjunto de beneficios actualizados hasta la fecha iguala y supera a los costes actualizados.

$$PRI = j \mid \sum_1^j \frac{b_i}{(1+r)^{i-1}} = \sum_{-to}^j \frac{C_i}{(1+r)^{i-1}}$$

4.2.2. Indicadores independientes de la Tasa de Actualización.

El más importante es la tasa interna de Retorno (TIR)

4.2.2.1. TIR. TASA INTERNA DE RETORNO

El TIR es aquella tasa de actualización o descuento para la cual el VAN es nulo o lo que es lo mismo se iguala el beneficio actualizado neto (BAN) con el coste actualizado neto (CAN).

$$TIR = r \mid \sum_1^{30} \frac{b_i}{(1+r)^{i-1}} = \sum_{-to}^{30} \frac{C_i}{(1+r)^{i-1}}$$

4.3. Criterios de Selección

Para que una alternativa sea rentable económicamente:

TIR	>	r	... siendo r la tasa de descuento mínima (6%)
VAN	>	0	
B/C	>	1	
PRI	<	n	...siendo n la vida útil (30 años)

Una vez excluidas las alternativas que no cumplan alguna de las condiciones anteriores se proceda a la jerarquización de las alternativas restantes⁽¹⁾.

1. El TIR presenta la ventaja que es independiente de la tasa de actualización. A mayor TIR mayor seguridad.
2. El VAN es el criterio óptimo siempre que existan recursos suficientes. Ahora bien en una economía de recursos limitados donde existen muchas necesidades de inversión y no alcanzan los recursos es preferible utilizar la relación B/C por cuanto para cada proyecto (necesidad de inversión) se optimiza el rendimiento de cada peseta. En línea con lo anterior sucede igual con el PRI, período de recuperación de la inversión, en relación con el VAN^{(2) (3)}

.

(1) Esta fase es lógicamente posterior al análisis de sensibilidad efectuado en cada alternativa a las variables o parámetros más aleatorios (tráfico, valor de tiempo, etc).

(2) Por lo general las alternativas presentan una alineación de los indicadores PRI y B/C frente al VAN.

(3) Dado que la situación real, aún con los incrementos de inversión debido a los distintos planes de carreteras (Estado, autonómicas, etc), es de recursos escasos, el beneficio global se consigue por medio del indicador B/C en cada proyecto.

En cualquier caso los criterios de rentabilidad económica - permite desechar aquellos proyectos o alternativas dentro de un proyecto, que no resulten rentables. Para el resto se puede proceder a una primera jerarquización estrictamente económica en base a los criterios arriba -- indicados. No obstante, razones de otra índole (territorial, impactos, socio-económicas, etc) pueden aconsejar seleccionar entre las alternativas una que siendo rentable económicamente no presente en cambio los mejores indicadores. La elección deberá acompañarse con la debida justificación y es por lo que resulta interesante presentar cada alternativa en un cuadro con el conjunto de características e impactos más relevantes.

APENDICE I. CRECIMIENTO Y PREDICION DE TRAFICO

- 1. Crecimiento del tráfico nacional y por corredores**
- 2. Predicción del tráfico en la R.I.G.E.**

APENDICE I. CRECIMIENTO Y PREDICCIÓN DE TRAFICO

Este apéndice recoge el crecimiento del tráfico en la red estatal durante el período 1976-1987 y el crecimiento por corredores en el período 1976-1986, así como la predicción de tráfico en la red estatal (RIGE) a partir de 1.988 en base a los crecimientos previstos del producto interior bruto.

1. CRECIMIENTO DEL TRAFICO NACIONAL Y POR CORREDORES

Los datos de I.M.D. en los diez corredores en que se ha dividido el tráfico peninsular (1), se han obtenido a partir de la información contenida en los Mapas de tráfico y Autopistas de Peaje y detalles (años 1976 a 1985), - mapas provinciales de tráfico (1976 a 1986), Servicio de Concesiones (1986 y 1987) y la estimación de tráfico realizada a partir de la información recogida en las estaciones permanentes en 1987.

Salvo para el último año (1987), en el resto se ha utilizado la información proveniente de las estaciones permanentes, primarias, secundarias y de cobertura de forma que se ha optimizado la asignación de tráficos a cada tramo de la red (definido por intersecciones entre carreteras de la antigua red estatal y/o núcleos de población).

La tabla 1 y 1 bis recoge el tráfico anual (I.M.D.) en cada uno de los diez corredores y el crecimiento interanual

La determinación en cada año de la I.M.D. en la R.I.G.E. se ha realizado a partir de los corredores anteriores eliminando los solapamientos de carreteras y evitando así una doble contabilidad.

La tabla 1 bis recoge el tráfico y crecimiento en la R.I.G.E. en el epígrafe denominado TOTAL.

(1) Dichos corredores están representados en las figuras 1 a 10

INTENSIDAD MEDIA DIARIA DE TRAFICO POR CORREDORES

T A B L A 1

	A Ñ O											
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	
<u>redor de Levante (FIGURA 1)</u>												
trid-Levante	8.712	9.909	10.122	10.954	11.163	11.133	11.863	11.721	10.830	10.777	12.048	
xcimiento anual (%)		13,7	2,2	8,2	1,9	-0,3	6,6	-1,2	-7,6	-0,5	11,8	
<u>redor del Norte (FIGURA 2)</u>												
trid-Pais Vasco y Cantabria	7.216	7.862	8.224	8.337	8.031	8.496	8.812	8.514	8.595	8.772	8.847	
xcimiento anual (%)		8,9	4,6	1,4	-3,7	5,8	3,7	-3,4	1,0	2,1	0,8	
<u>redor de Extremadura (FIGURA 3)</u>												
trid-Extremadura	6.355	6.874	7.258	7.690	7.861	8.709	8.836	8.670	8.138	8.558	8.652	
xcimiento anual (%)		8,2	5,6	5,8	2,4	10,8	1,5	-1,9	-6,1	5,2	1,1	
<u>redor de Aragón (FIGURA 4)</u>												
trid-Cataluña	17.170	17.864	19.840	20.820	21.598	21.197	21.394	21.587	21.513	21.167	22.003	
xcimiento anual (%)		4,0	11,1	4,9	3,7	-1,9	0,9	0,9	-0,3	-1,6	3,9	
<u>redor de Andalucía (FIGURA 5)</u>												
trid-Andalucía	5.777	6.079	6.457	6.698	6.675	7.092	7.196	6.948	6.931	7.180	7.510	
xcimiento anual (%)		5,2	6,2	3,7	-0,3	6,3	1,5	-3,5	-0,3	3,6	4,6	
<u>redor del Noroeste (FIGURA 6)</u>												
trid-Galicia y Asturias in-Fuentes de Oñoro	6.949	7.544	7.792	8.079	7.969	8.038	8.385	8.291	8.467	8.791	8.963	
xcimiento anual (%)		8,6	3,3	3,7	-1,4	0,9	4,3	-1,1	2,1	3,8	2,0	

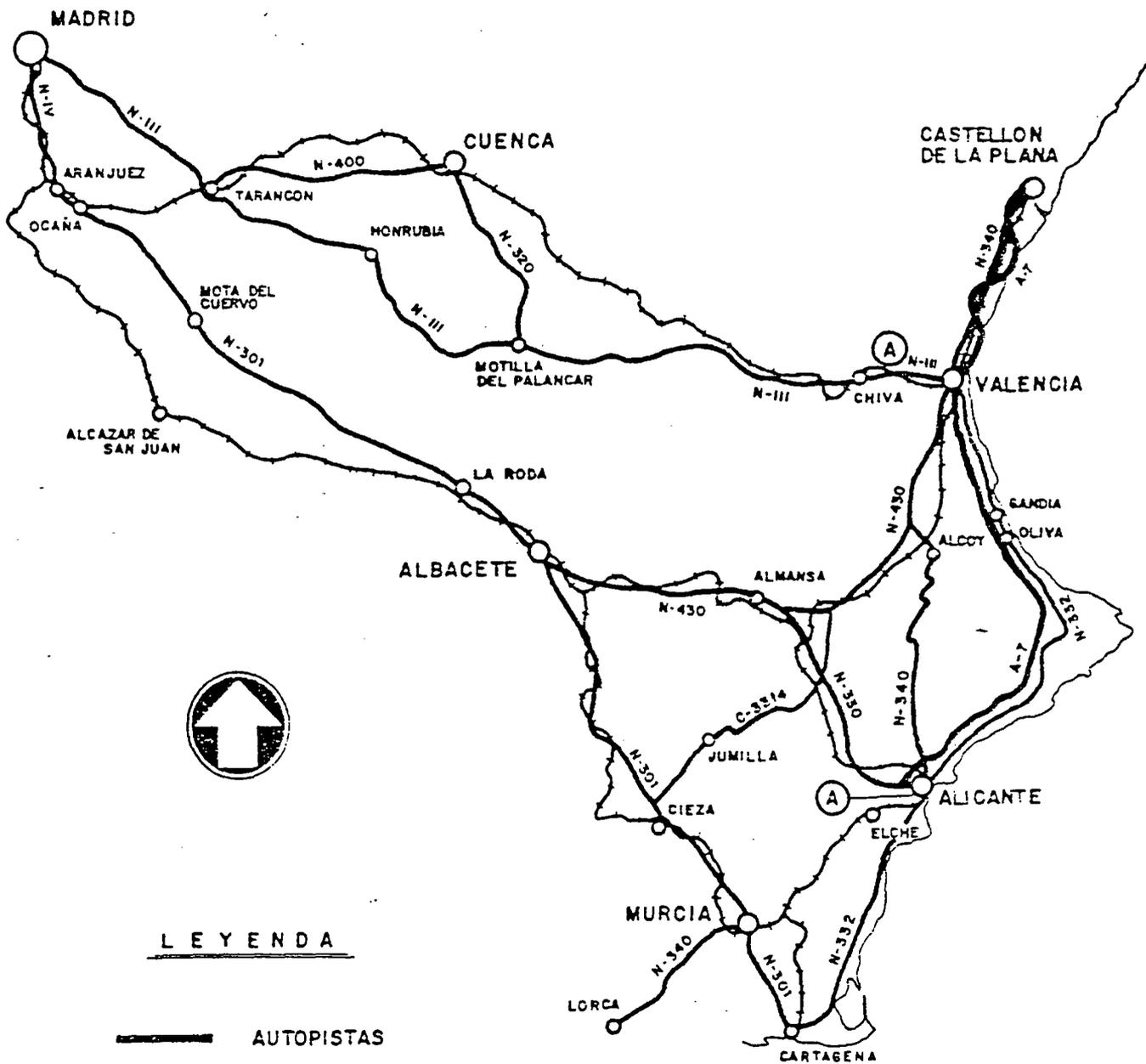
INTENSIDAD MEDIA DIARIA DE TRAFICO POR CORREDORES (cont.)

TABLA 1 BIS

	A Ñ O											
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	
<u>redor del Mediterráneo (sur)</u>												
alucía-Levante (FIGURA 7)	6.263	6.847	7.204	7.768	7.822	8.016	8.459	8.618	7.996	8.616	8.837	
ecimiento anual (%)		9,3	7,8	0,7	2,5	2,5	5,5	1,9	-7,2	7,7	2,6	
<u>redor del Mediterráneo (norte)</u>												
Junquera y Port-Bou-Murcia	20.786	21.333	22.826	24.255	24.739	24.662	25.638	25.562	24.666	25.161	27.270	
ecimiento anual (%) (FIGURA 8)		2,6	7,0	6,3	2,0	-0,3	4,0	0,3	-3,5	2,0	8,4	
<u>redor del Cantábrico</u>												
lucia y Cornisa Cantábrica	4.320	4.603	4.929	4.995	5.008	5.186	5.235	5.374	5.404	5.504	5.782	
ecimiento anual (%) (FIGURA 9)		6,6	7,1	1,3	0,3	3,6	0,9	2,7	0,6	1,8	5,1	
<u>redor de La Plata (FIGURA 10)</u>												
ecimiento anual (%)	5.050	5.377	5.641	6.007	5.971	5.941	5.991	6.018	6.008	6.131	6.536	
ecimiento anual (%)		6,5	4,9	6,5	-0,6	-0,5	0,9	0,5	-0,2	2,0	6,6	
<u>TOTAL R I G E(1)</u>												
ecimiento anual (%)	6.611	7.176	7.615	7.970	7.990	8.173	8.396	8.369	8.282	8.401	8.847	
ecimiento anual (%)		8,6	6,1	4,7	0,3	2,3	2,7	-0,3	-1,3	1,4	5,3	

(1) Para 1987 la estimación realizada ha sido I.M.D. = 9.347 con un crecimiento del 5,65% respecto a 1986

MADRID - LEVANTE

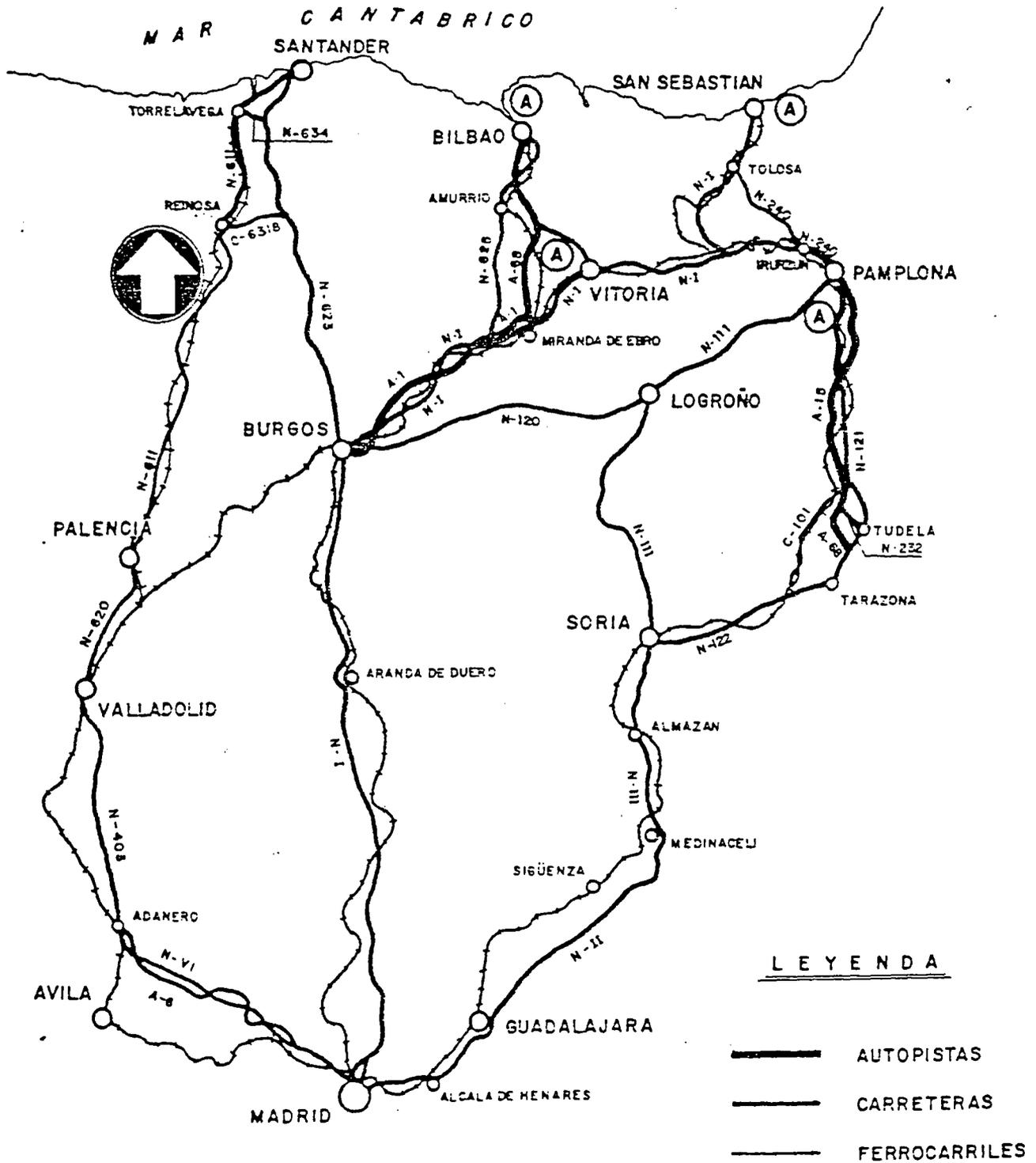


LEYENDA

-  AUTOPISTAS
-  CARRETERAS
-  FERROCARRILES
-  AEROPUERTOS

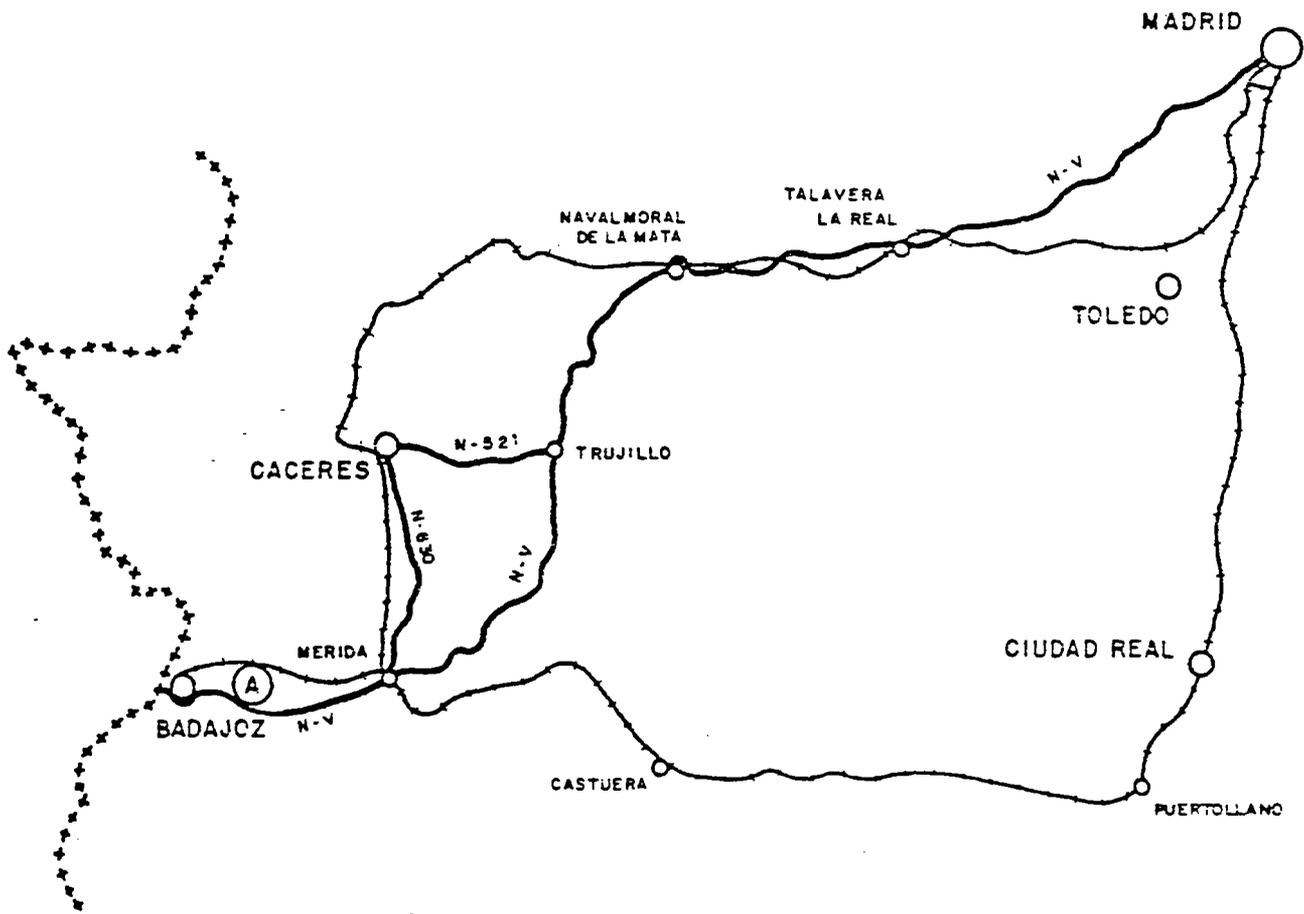
FIGURA 1

MADRID- PAIS VASCO Y CANTABRIA



MADRID - EXTREMADURA

F
J
A
I
U
6
A
L



LEYENDA

-  AUTOPISTAS
-  CARRETERAS
-  FERROCARRILES

-  AEROPUERTOS



FIGURA 3

MADRID - CATALUÑA

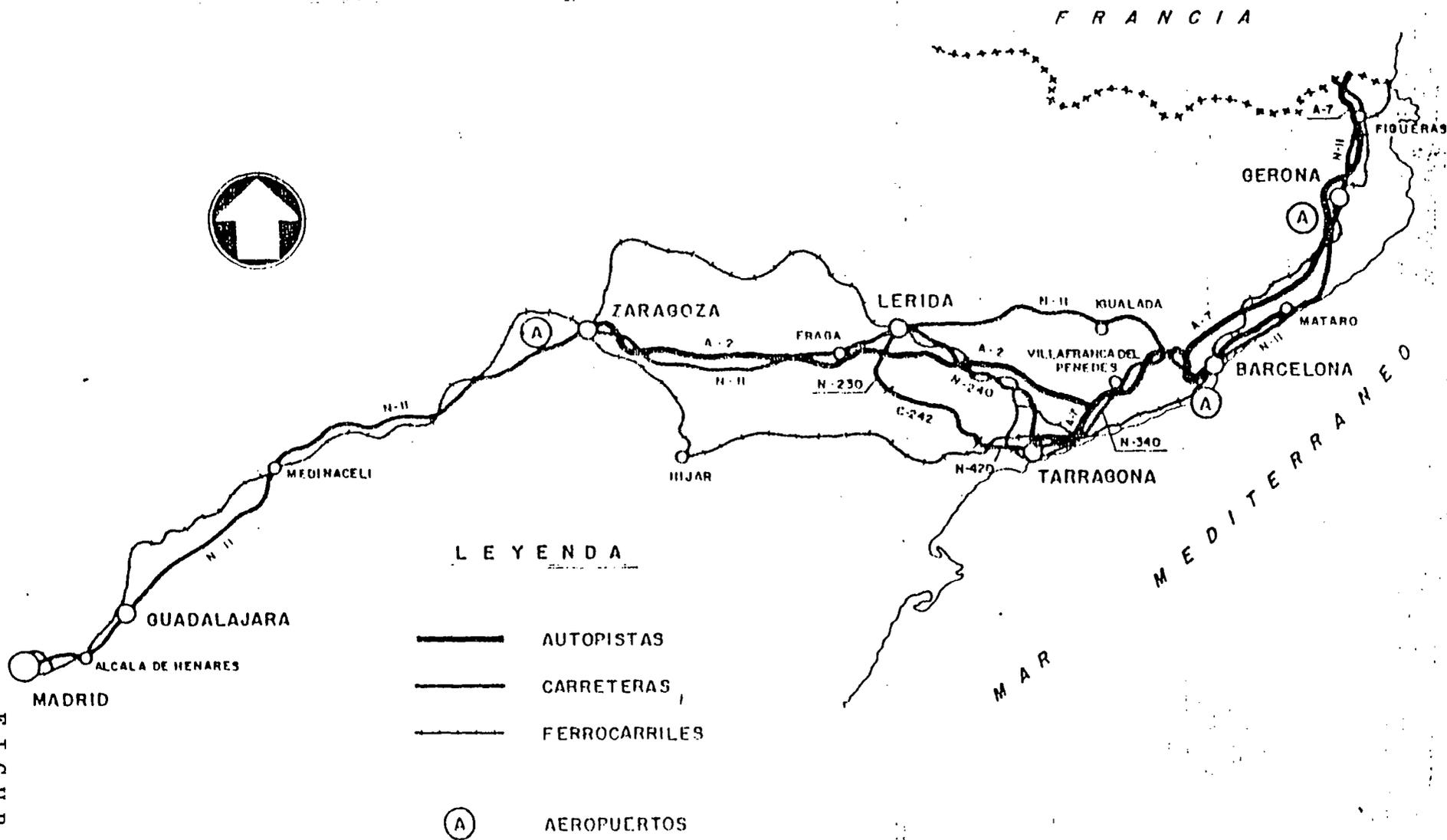


FIGURA 4

LEYENDA

-  AUTOPISTAS
-  CARRETERAS
-  FERROCARRILES
-  AEROPUERTOS

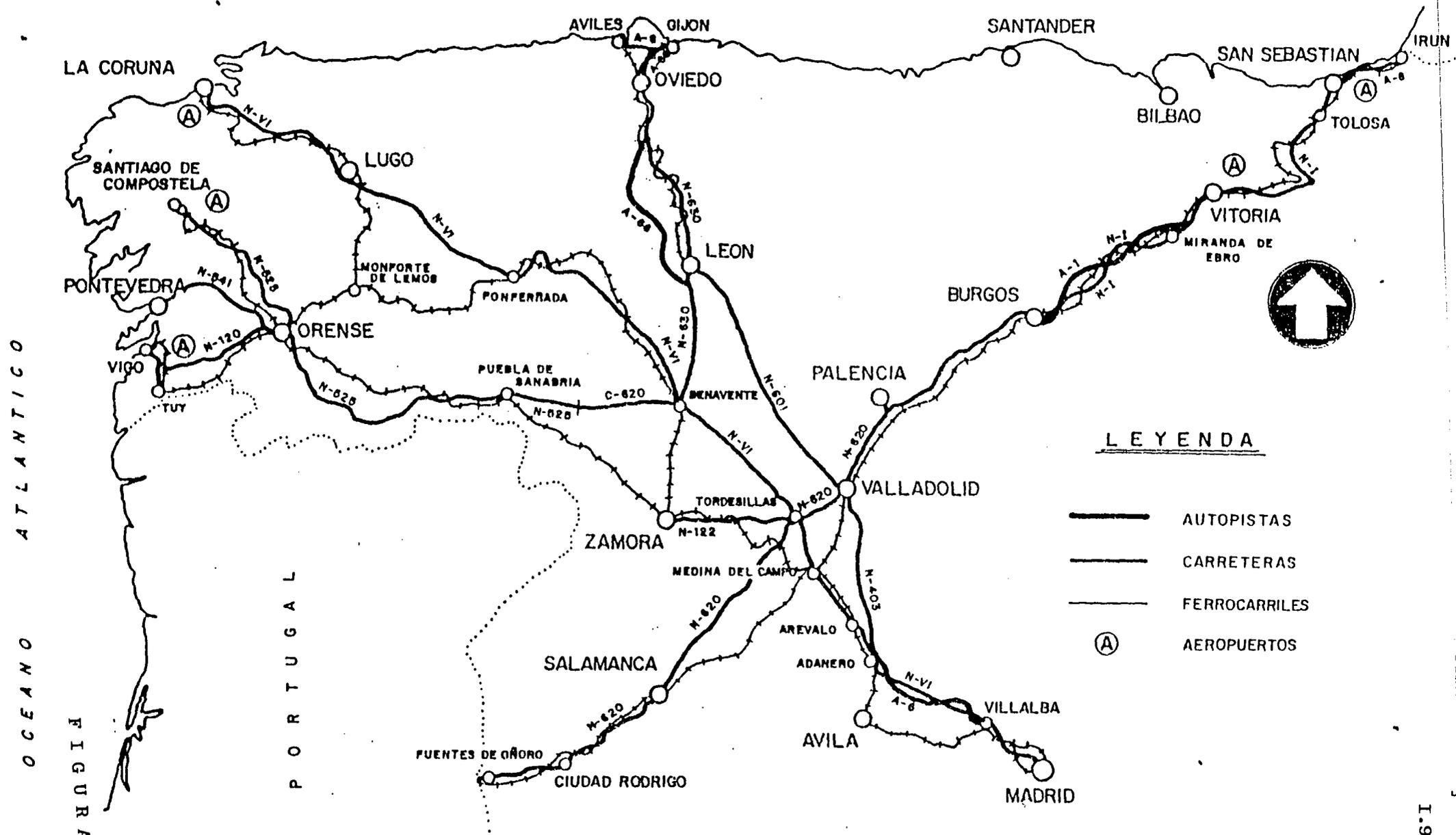
MADRID - ANDALUCIA



FIGURA 5

PLAN DE LA RED DE VECTORES
IRUN-FUENTES DE ORO

M A R C A N T A B R I C O

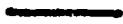
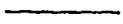


OCEANO ATLANTICO

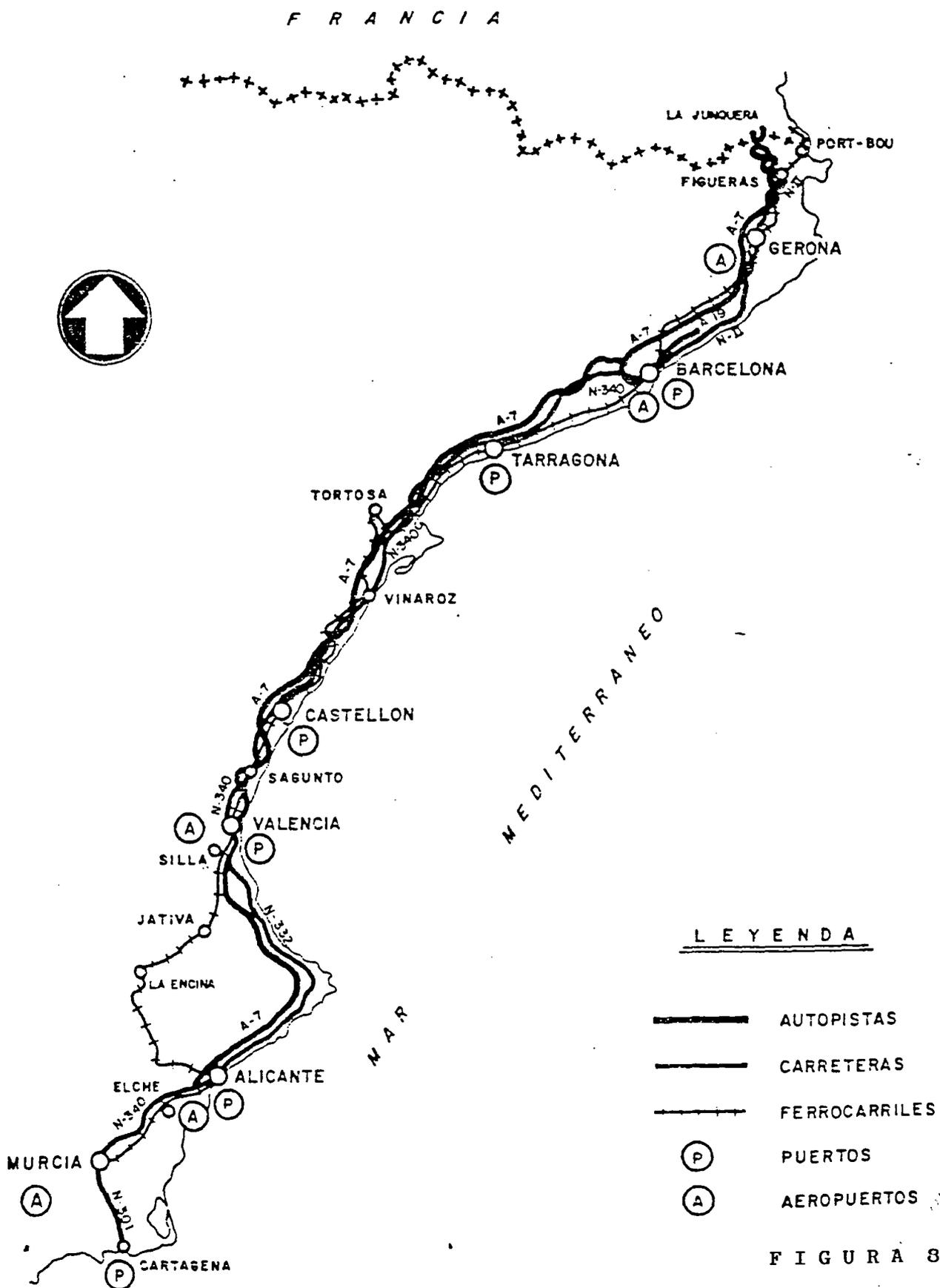
FIGURA 6

P O R T U G A L

LEYENDA

-  AUTOPISTAS
-  CARRETERAS
-  FERROCARRILES
-  AEROPUERTOS

LA JUNQUERA Y PORT-BOU — MURCIA



LEYENDA

-  AUTOPISTAS
-  CARRETERAS
-  FERROCARRILES
-  PUERTOS
-  AEROPUERTOS

FIGURA 8

GALICIA Y CORNISA CANTABRICA

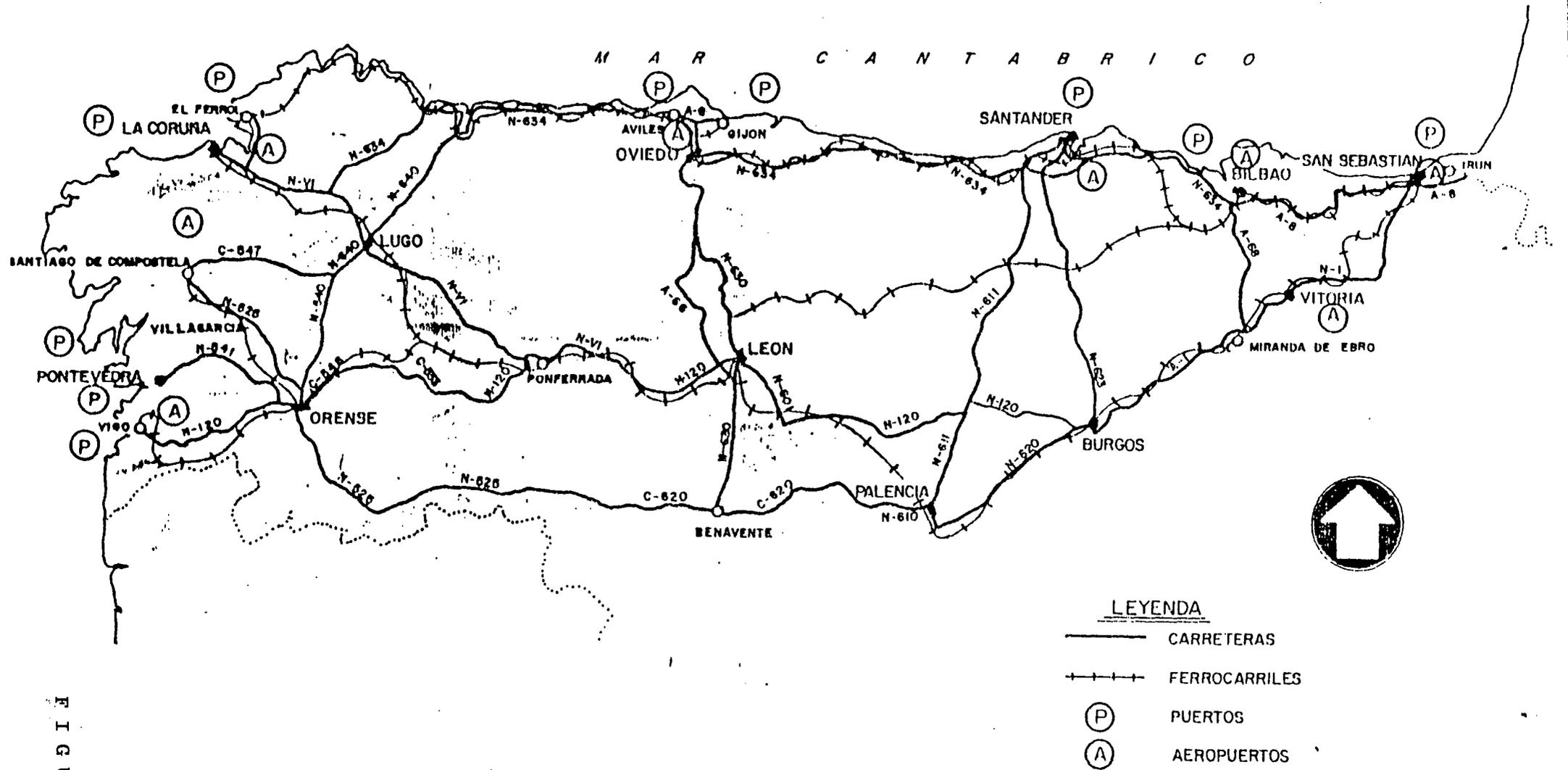


FIGURA 9

RUTA DE LA PLATA

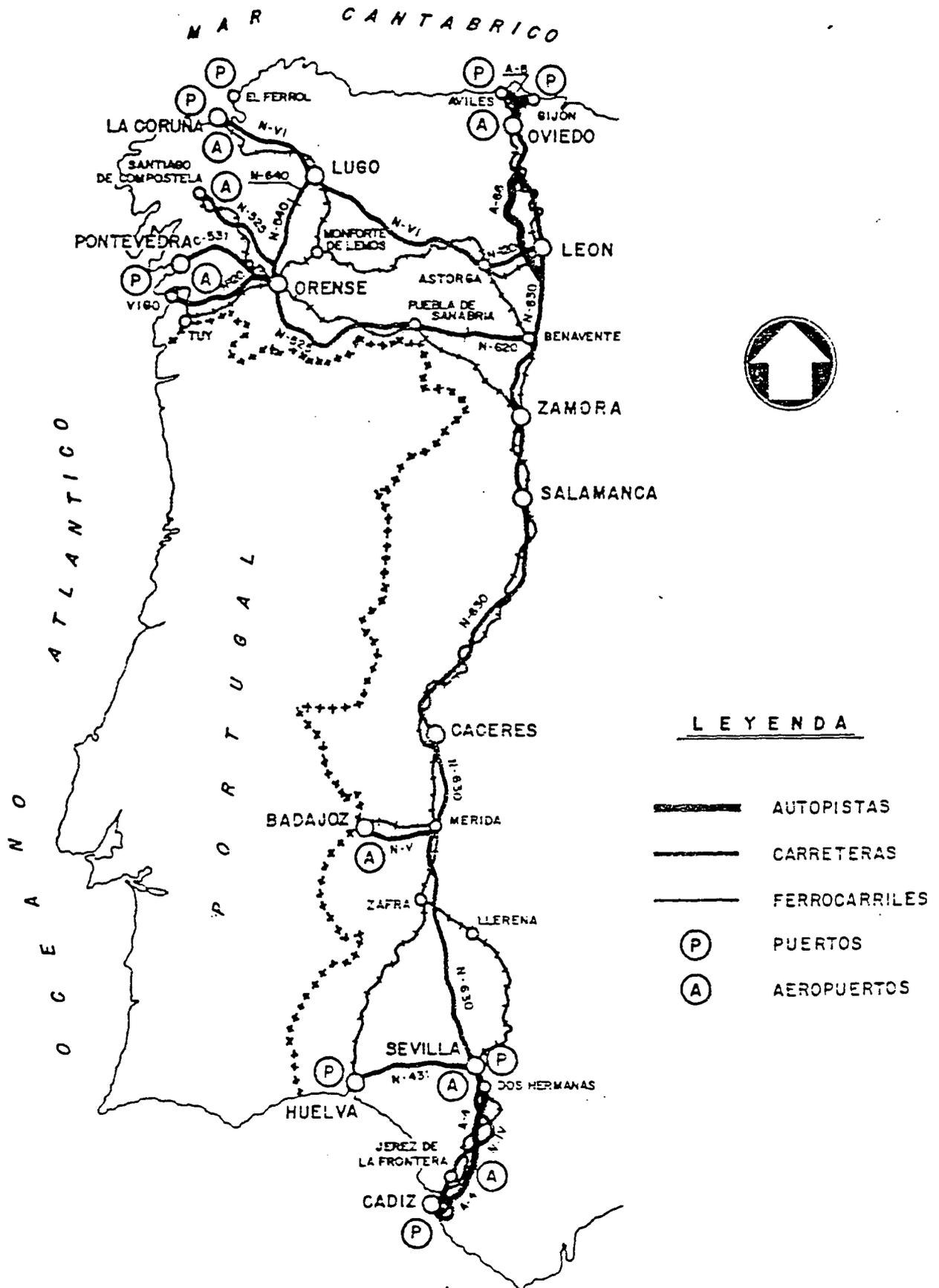


FIGURA 10

2. PREDICCIÓN DE TRAFICO EN LA RIGE (1)

Al no ser el tráfico una variable independiente no son válidos los modelos tendenciales que proyectan sin mas hacia el futuro la serie de tráfico habida en los últimos años, sino que hay que relacionarla con las variables que dan lugar a la misma como son la especialización funcional de cada zona - del territorio y su riqueza.

Con suficiente aproximación y particularmente indicativo del segundo aspecto mencionado, se ha relacionado el tráfico con el producto interior bruto durante el período 1976-1987 obteniéndose un grado de correlación muy alto (0,92) lo que demuestra la dependencia causal prevista.

Para efectuar la predicción se ha obtenido del Ministerio de Economía y Hacienda los incrementos anuales hasta 1995 del PIB y que son los siguientes:

AÑO	Δ PIB (ptas. ctes.)
1988	- 4%
1989	- 3,7%
1990	- 3,6%
1991-1995	- 3,5%

Con estas hipótesis y con la recta de regresión obtenida anteriormente se han determinado los tráficoes en el período 1988-1995 y los intervalos de confianza del 95%, obteniéndose la banda siguiente

PERIODO 1988-1995	
CRECIMIENTO ANUAL ACUMULATIVO TRAFICO = 4,4%	
INTERVALO CONFIANZA 95%	LIMITE SUPERIOR Y CRECIMIENTO = 5,3%
(2)	LIMITE INFERIOR CRECIMIENTO = 3,4%

En la figura 11 se ha representado la serie histórica, la predicción efectuada y los intervalos de confianza.

- (1) Idéntico método al que a continuación se expone se está elaborando actualmente para los diez corredores.
- (2) Esta banda representa durante los 30 años de vida útil, y con una tasa de actualización del 6% unos incrementos totales de tráfico del \pm 11%

Se ha efectuado igualmente otra predicción con una hipótesis menos favorable del crecimiento del PIB ($\Delta 1988 = 3,7\%$, $\Delta 1989 = 3,5\%$, $\Delta 1990 = 3,3\%$, $\Delta 1991 = 3\%$, $\Delta 1992 = 2,9\%$, $\Delta 1993 = 2,8\%$, $\Delta 1994 = 2,7\%$, $\Delta 1995 = 2,6\%$), obteniéndose un crecimiento del tráfico del 3,2% que coincide aproximadamente con el límite inferior del intervalo de confianza del 95% lo cual habla de la bondad de la hipótesis e intervalos de confianza adoptados.

El incremento anual acumulativo de tráfico a adoptar en los distintos estudios y proyectos será del 4,4%, pudiéndose matizar el límite superior o inferior según la zona y corredor de que se trate pero siempre a partir de ese dato inicial (1)

(1) Caso de no disponer de información del año 86 y 87 los crecimiento anuales han sido 86-85 5,3% y 87-86 (valor estimado a partir de las estaciones permanentes) 5,65%

APENDICE II. Estimación de la estructura horaria del tráfico.

APENDICE II. ESTIMACION DE LA ESTRUCTURA HORARIA DEL TRAFICO.

En general es una distribución desconocida, si bien para próximos años se incorporará en la información que suministra el Servicio de Datos Básicos de la Dirección General de Carreteras.

Para su estimación hay que buscar una estación permanente de aforos afín a la zona del proyecto y de la misma utilizar las siguientes distribuciones de intensidades ⁽¹⁾.

- Distribución horaria del día medio (Anejo II. Tomo 2)..H(I)
- Distribución diaria de la semana media (Cap.3.1.1. Tomo 1)...D(J)
- Distribución semanal del tráfico a lo largo del año (Anejo III.Tomo 2)..S(K)
- I.M.D. del año base del estudio.

Se supone que existe en la actualidad una distribución análoga de tráfico a la del último año del que se dispongan datos. Lo cual queda avalado en cada estación por la similitud de las curvas de distribución en el período referido de los ocho años.

A continuación se obtienen las intensidades horarias ⁽²⁾ mediante la fórmula

$$\bar{I}_h = H(I) \times D(J) \times S(K) \times 10^{-4}; \quad I=1 \text{ a } 24, \quad J=1 \text{ a } 7, \quad K=1 \text{ a } 52$$

(1) Los últimos datos publicados por la Subdirección de Planificación están recogidos en dos tomos. "Estaciones Permanentes de aforos de carreteras, Resultados generales, 1976-1983", Dirección General de Carreteras, M.O.P.U. Madrid, 1985.

(2) Todas las intensidades a las que se hace mención en este Apéndice se denominan también Volúmenes.

Se clasifican las 8.736 horas para lo cual se recomienda la -- utilización de cualquier miniordenador que directamente vaya acumulando las \bar{I}_h obtenidas en la clase correspondiente a la intensidad horaria.

Se procede después a ajustar los resultados con la IMD real. Para ello se han clasificado los resultados en n clases, cada una de las cuales tiene una intensidad media \bar{I}_h^i y una frecuencia de N_i , con lo que tenemos:

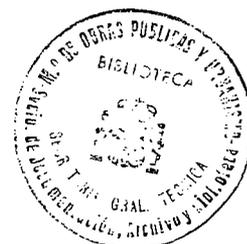
$$F \cdot \sum_i^n \bar{I}_h^i N_i = \text{IMD.365}; \text{ siendo } F \text{ el factor de ajuste. Por}$$

lo general F oscila entre 0,9 y 1,1 lo cual prueba la bondad del método empleado.

La intensidad horaria real⁽¹⁾ correspondiente a cada intervalo es

$$I_h^i = \bar{I}_h^i \cdot F$$

siendo



I_h^i = Intensidad horaria correspondiente a la clase i real

\bar{I}_h^i = " " " " aproximada

F = factor de ajuste

Finalmente se obtienen la distribución de frecuencias absolutas y/o acumulada de las Intensidades horarias.

En base a ellas se reduce toda la distribución en 5 o 6 clases homogéneas a las que se asignan la Intensidad horaria media correspondiente a las mismas.

A modo de ejemplo se incluye el desarrollo del cálculo de las intensidades horarias de una zona de la N-IV próxima a Despeñaperros.

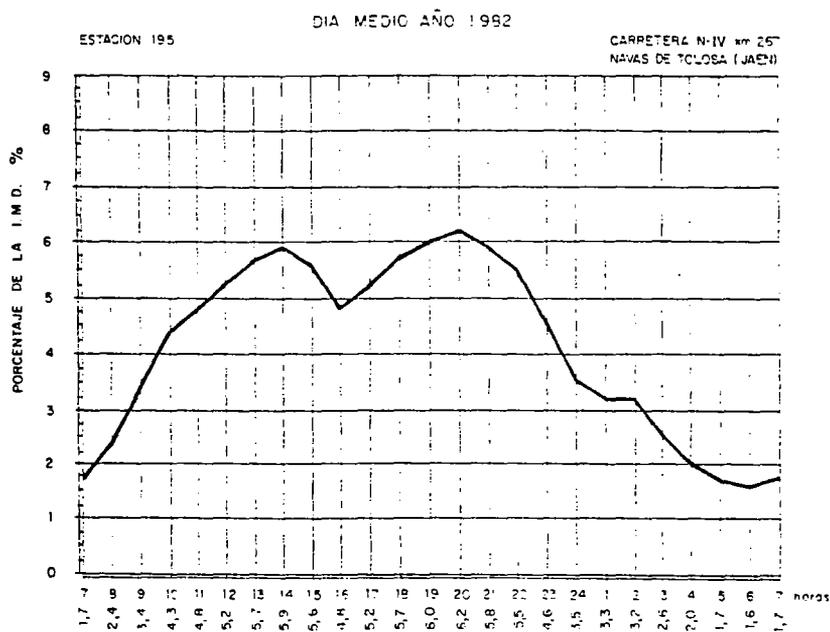
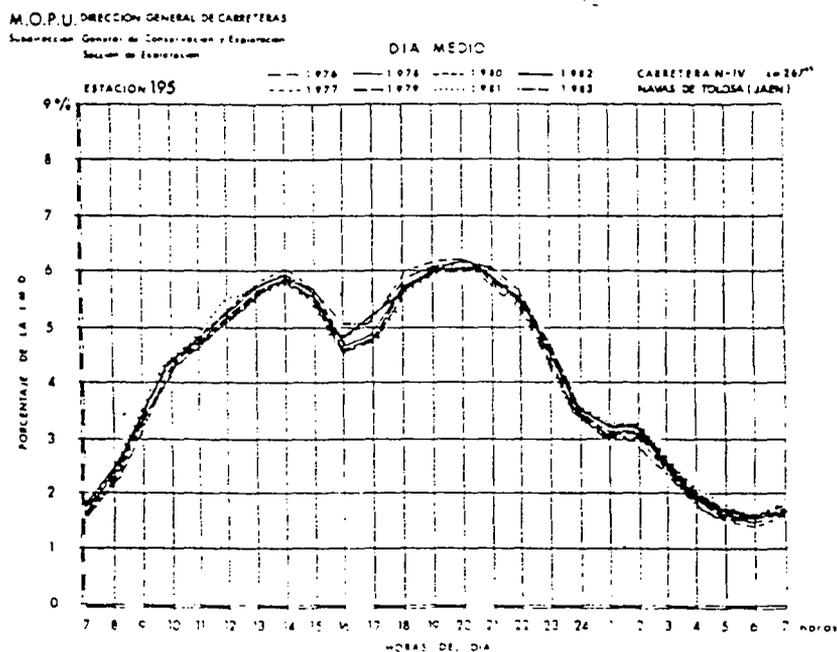
(1) Esta intensidad horaria real o volumen correspondiente a cada clase es la que dividida por el Factor de hora punta nos da la intensidad de -- servicio (IS) correspondiente (Apéndice III. pág. III.3).

EJEMPLO: Cálculo de la estructura horaria en las proximidades de Despeñaperros en la N-IV.

El proceso es el siguiente:

1. Estación Afín: NAVAS DE TOLOSA (Jaén) Km.267. N-IV. Estación E-195
Por destacar más hemos utilizado los datos referidos a 1982.
2. Distribución horaria del día medio (Pag. 115) (Anejo II. Tomo 2)
En la parte inferior está tabulado el porcentaje de IMD que denominaremos H (I) ; I = 1 a 24.

(El gráfico superior es el extraído del libro citado y en el inferior se ha destacado la distribución correspondiente al año 82, tabulando sus porcentajes).



3. Distribución diaria de la semana media (Pag. 106.Cap.3.1.1. Tomo 1)

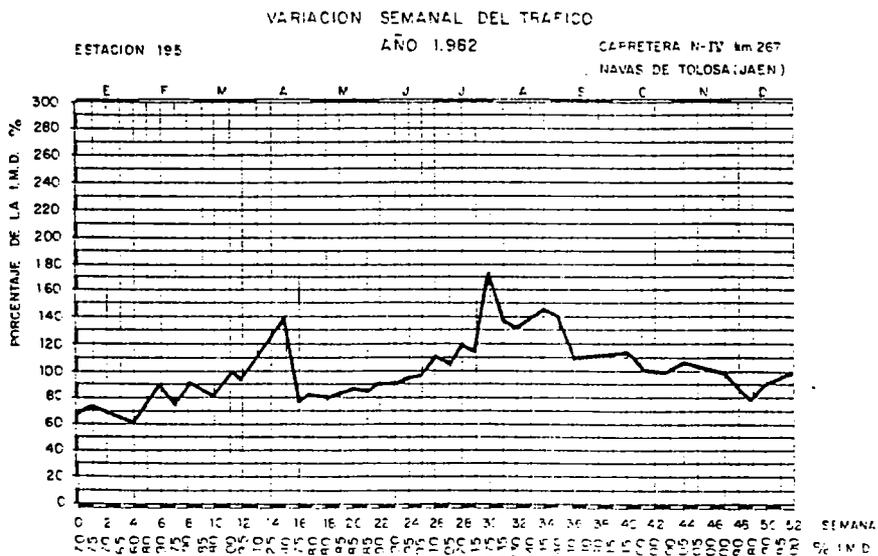
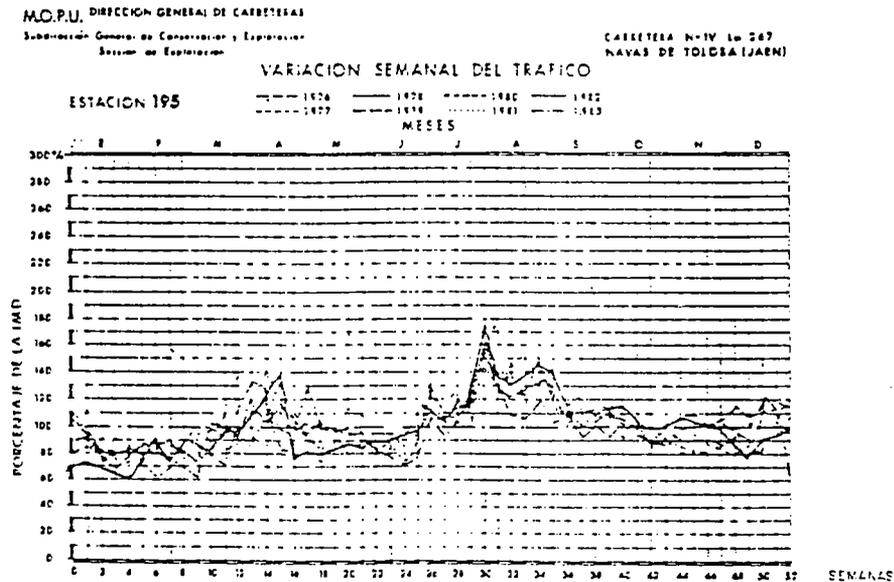
TRAFICO (IMD)							IMD	
Estación	-----Laborables-----					Sábados	Domingos	
	L	M	X	J	V			
E-195		10.871				8.784	9.866	10.429

Este tráfico lo denominaremos D(J) ; J= 1,..... 7

4. Distribución semanal del tráfico a lo largo del año) Pag. 195. Anexo III. Tomo 2).

A este tráfico lo denominaremos S(K) ; K = 1 a 52

(El gráfico superior es el extraído de la memoria citada y a partir del cual se ha elaborado el inferior en el que se ha destacado y tabulado la curva interesada).



5. Cálculo de las intensidades horarias simuladas

$$\bar{I}_h = H(I) \times D(J) \times S(K) \times 10^{-4} \quad \begin{array}{l} I = 1 \text{ a } 24 \\ J = 1 \text{ a } 7 \\ K = 1 \text{ a } 52 \end{array}$$

Se han ordenado los valores resultantes en las siguientes clases de intensidad horaria

\bar{I}_h	CLASE	Nº datos	Intensidad media
	0- 99	$N_1 = 31$	$\bar{I}_h^1 = 92,5$
	100- 199	$N_2 = 1.327$	$\bar{I}_h^2 = 157,9$
		
	1.100-1.199	$N_{12} = 20$	$\bar{I}_h^{12} = 1.141,5$
	≥ 1.200	$N_{13} = 0$	$\bar{I}_h^{13} = -$

6. Se obtiene el factor de ajuste entre la intensidad media real y la obtenida por el modelo

$$F = \frac{\text{IMD. } 365}{\sum N_i \cdot \bar{I}_h^i} = 0.96$$

7. Se obtienen las intensidades reales correspondientes a cada clase

$$I_h^i = \bar{I}_h^i \cdot F \quad (I_h^1 = 91,8, I_h^2 = 156,8, \dots, I_h^{12} = 1.133,4)$$

8. Se procede a su representación gráfica (absoluta y/o acumulada)
(Ver FIGURAS 1 y 2 en la página siguiente.)

9. Se eligen intervalos homogéneos (se pueden elegir los correspondientes a las 13 clases iniciales).

En este caso se pueden reducir a los 6 indicados en las curvas de - frecuencias acumulados (página siguiente), debido a que existe una - continuidad en la distribución, sin singularidades.

FRECUENCIA ABSOLUTA
 NUMERO DE HORAS PARA CADA INTENSIDAD (IH)

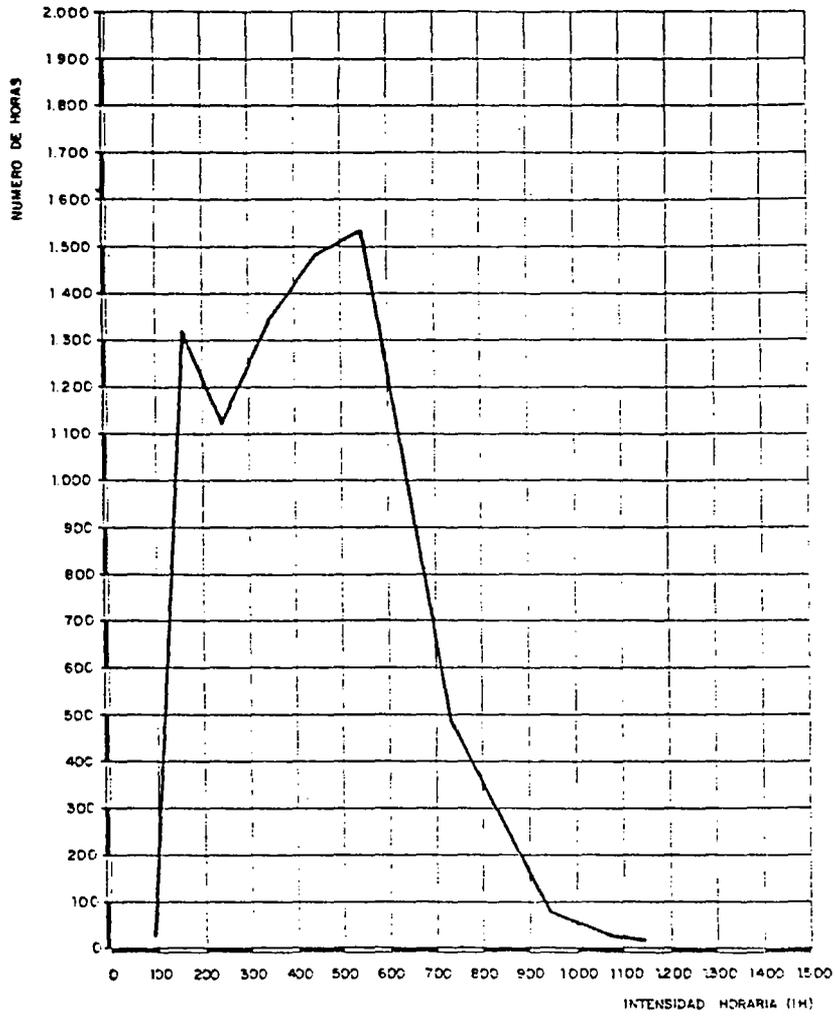


FIGURA 1

NUMERO TOTAL DE HORAS (ABCISAS) CON TRAFICO SUPERIOR AL INDICADO EN ORDENADAS.

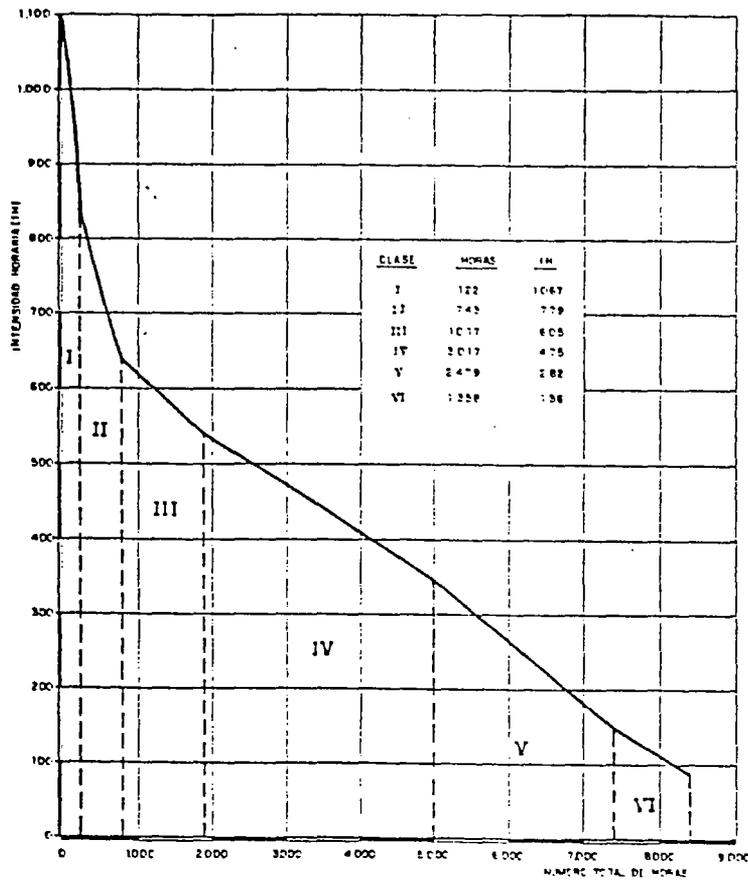


FIGURA 2

APENDICE III. Cálculo de la capacidad de la carretera
y de la velocidad de operación de tu--
rismos para distintas intensidades de
tráfico.

1. Carreteras con calzadas separadas
2. Carreteras de una calzada con dos carriles.

APENDICE III. CALCULO DE LA CAPACIDAD DE LA CARRETERA Y DE LA VELOCIDAD MEDIA DE RECORRIDO DE VEHICULOS LIGEROS PARA LAS DISTINTAS INTENSIDADES DE TRAFICO⁽¹⁾

Hay que obtener la capacidad de cada uno de los tramos homogéneos que definen cada alternativa, ya que al variar las características geométricas y en particular el tipo de terreno varía la capacidad.

A continuación y para cada uno de los volúmenes de tráfico representativos de la distribución horaria del mismo (ver Apéndice II) se estima la velocidad de circulación de vehículos ligeros, que nos permite en función de la misma el cálculo de los consumos de carburante, lubricante y gastos de mantenimiento así como la obtención de los tiempos de recorrido.

La velocidad de circulación de vehículos pesados se determina en función de la de vehículos ligeros tal y como se indica en el Apéndice IV.

1.- CARRETERAS DE DOBLE CALZADA⁽²⁾

Se completa la información del impreso adjunto que nos permite obtener para cada volumen de tráfico la velocidad de circulación

(1) Se resume el proceso de cálculo de la capacidad para los casos más generales según lo hace el nuevo "Manual de Capacidad de Carreteras" (versión española del "Highway Capacity Manual", 1985), Dirección General de Carreteras, M.O.P.U., Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, 1987.

(2) La metodología corresponde al cálculo de autopistas que coincide con la de carreteras multicarril salvo por la exclusión del factor de entorno (f_E). No obstante se ha recogido éste (tabla 6.1) para su utilización en los casos necesarios. En particular las autovías programadas en el P.G.C. tendrán consideración de vía multicarril en aquellos casos en que la antigua calzada tenga un número de accesos o intersecciones no reguladas por semáforo superior a 6 por km., por lo cual es válido en general la exclusión de este factor F_E .

CALZADAS SEPARADAS

Tramo de la vía: _____
 Fecha: _____ Hora: _____ (de la toma de datos)

I. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

TABLA 1

	Velocidad de proyecto (km/h)	Anchura de carril (m)	Tipo de terreno (L, O u M)	Inclinación (%)	Longitud (km)	Tipo de barrera
Sen. 1						
Sen. 2						

II. VOLUMENES **TABLA 2**

	Vol. (v/h)	FHP	IS = Vol./FHP	% Camiones	% Buses	% VRs	Tipo de conductor
Sen. 1							Lanzadera o Otros pendulares
Sen. 2							Lanzadera o Otros pendulares

III. ANALISIS

$$l/c = IS / (c_j \times N \times f_A \times f_{VP} \times f_C)$$

$$c = c_j \times N \times f_A \times f_{VP} \times f_C$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C (E_C - 1) + P_B (E_B - 1) + P_R (E_R - 1)}$$

	Tabla 3	Tabla 4	Tabla 5	T A B L A 6		
				E_C	E_B	E_R
Sen. 1						
Sen. 2						

	c	l/c	NS (Tabla 3)	Velocidad (Fig. 1)	Densidad (Fig. 3-3)
Sen. 1					X
Sen. 2					X

Nombre: _____ Fecha: _____
 Examinado por: _____

PROCESO DE CALCULO

1. DATOS GEOMETRICOS

El tipo de terreno (LL, O, M) condiciona los parámetros a utilizar. El tipo de terreno figura en la tabla 1 según la inclinación y longitud de la rampa.

2. DATOS DE TRAFICO

V = Volúmenes - Corresponde a cada una de las intensidades de tráfico seleccionadas.⁽¹⁾

IS = Intensidad de servicio (horario). Es la relación entre el volumen y el factor de hora punta (FHP).

El FHP puede determinarse empíricamente o bien puede emplearse, según el nivel de servicio, los valores de la TABLA 2.

$$IS = V/FHP$$

3. ANALISIS

Determinación de la relación Intensidad/Capacidad

$$\frac{I}{C} = \frac{IS}{C_J \times N \times f_A \times f_{VP} \times f_C} \quad (2)$$

(1) El volumen de tráfico V es la intensidad horaria I_h^C obtenida para cada clase c en el apéndice anterior.

(2) En carreteras multicarril existe un nuevo factor f_E (Tabla 6.1.), factor de entorno, que convierte la relación $\frac{I}{C}$ en la siguiente:

$$\frac{I}{C} = \frac{IS}{C_J \times N \times f_A \times f_{VP} \times f_C \times f_E}$$

- Capacidad por carril C_j para nivel E. TABLA 3.
- $N = N^{\circ}$ de carriles por sentido
- $f_A =$ Factor de ajuste por anchura de carril y obstáculos laterales. Tabla 4.
- $f_C =$ factor de ajuste según el carácter del tráfico. Tabla 5.
 Si el tráfico es homogéneo y en general no es turístico utilizar $f_C = 1.$
- $f_{VP} =$ Factor debido a la existencia de camiones, autobuses y vehículos de recreo en función del tipo de terreno. Tabla 6
- $f_E =$ factor de entorno f_E (tabla 6.1) que tiene en consideración el carácter rural o urbano de la carretera y la existencia o no de mediana. Para carreteras multicarriles.
- $\frac{I}{C} =$ La relación I/c nos proporciona el nivel de servicio. Tabla 3
- VELOCIDAD. Viene dada en función de $\frac{I}{C}$ y de la velocidad de proyecto. FIGURA 1. Para el resto de velocidades $\frac{C}{S}$ de proyecto hay que interpolar.

TABLAS Y FIGURAS PARA CARRETERAS CON CALZADAS SEPARADAS

TABLA 1.- Tipo de terreno según inclinación y longitud media de la rampa.

LLANO	- Pendiente $\leq 2\%$
ONDULADO	- Pendiente 3-4% y Longitud < 1.000 m. - Pendiente 5-6% y Longitud < 500 m.
MONTAÑOSO	- Resto

TABLA 2.- Factor de hora punta (FHP) según el nivel de servicio.

NS	A	B	C	D	E
FHP	0,91	0,92	0,94	0,95	1

TABLA 3.- Niveles de Servicio para tramos básicos de autopista y Capacidad por carril (IMS^a)

Nivel de Servicio	Densidad (vl/km/c)	Velocidad de Proyecto 112 Km/h			Velocidad de Proyecto 96 Km/h			Velocidad de Proyecto 80 Km/h		
		Velocidad ^b (km/h)	I/c	IMS ^a (vl/h/c)	Velocidad ^b (km/h)	I/c	IMS ^a (vl/h/c)	Velocidad ^b (km/h)	I/c	IMS ^a (vl/h/c)
A	< 7	> 96	0,35	700	-	-	-	-	-	-
B	< 12	> 91	0,54	1.100	> 80	0,49	1.000	-	-	-
C	< 19	> 86	0,77	1.550	> 75	0,69	1.400	> 69	0,67	1.300
D	< 26	> 74	0,93	1.850	> 67	0,84	1.700	> 64	0,83	1.600
E	< 42	> 48	1,00	2.000	> 48	1,00	2.000	> 45	1,00	1.900
F	≥ 42	≤ 48	c	c	≤ 48	c	c	≤ 45	c	c

a Intensidad máxima de servicio por carril en condiciones ideales.

b Velocidad media de recorrido.

c Altamente variable, inestable.

NOTA: Todos los valores de la IMS están reondeados a los 50 vl/h más cercanos.

- (1) Recomendación extraída de la fig. 1-3-2 de la versión española del manual (pag. 129). Para mayor precisión deberá consultarse aquella.
- (2) Como capacidad se considera la correspondiente al nivel E. Para velocidades de 90, 100 y 110 se adoptará $C_E = 2000$ v/h.c. Esta tabla nos permite - además conocer el nivel de servicio en el que realmente se está para cada intensidad (tiene su incidencia en la elección del FHP).

TABLA 4.- FACTORES DE AJUSTE POR ANCHURA DE CARRIL Y OBSTACULOS LATERALES (F_A)

DISTANCIA DESDE LA CALZADA (a) (m)	FACTOR DE AJUSTE, f_A							
	OBSTACULOS A UN SOLO LADO DE LA CALZADA				OBSTACULOS A AMBOS LADOS DE LA CALZADA			
	ANCHURA DE CARRIL (m)							
	3.6	3.3	3.0	2.7	3.6	3.3	3.0	2.7
	AUTOPISTA DE 4 CARRILES (2 carriles por sentido)							
≥ 1.8	1.00	0.97	0.91	0.81	1.00	0.97	0.91	0.81
1.5	0.99	0.96	0.90	0.80	0.99	0.96	0.90	0.80
1.2	0.99	0.96	0.90	0.80	0.98	0.95	0.89	0.79
0.9	0.98	0.95	0.89	0.79	0.96	0.93	0.87	0.77
0.6	0.97	0.94	0.88	0.79	0.94	0.91	0.86	0.76
0.3	0.93	0.90	0.85	0.76	0.87	0.85	0.80	0.71
0	0.90	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
	AUTOPISTA DE 6 A 8 CARRILES (3 ó 4 carriles por sentido)							
≥ 1.8	1.00	0.96	0.89	0.78	1.00	0.96	0.89	0.78
1.5	0.99	0.95	0.88	0.77	0.99	0.95	0.88	0.77
1.2	0.99	0.95	0.88	0.77	0.98	0.94	0.87	0.77
0.9	0.98	0.94	0.87	0.76	0.97	0.93	0.86	0.76
0.6	0.97	0.93	0.87	0.76	0.96	0.92	0.85	0.75
0.3	0.95	0.92	0.86	0.75	0.93	0.89	0.83	0.72
0	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.70

TABLA 5.- FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL TIPO DE CONDUCTORES (f_C)

TIPO DE CONDUCTORES	FACTOR, f_C
Conductor pendular u otros usuarios regulares	1.00
Conductor en recorrido de recreo u otros usuarios no regulares	0.75-0.90

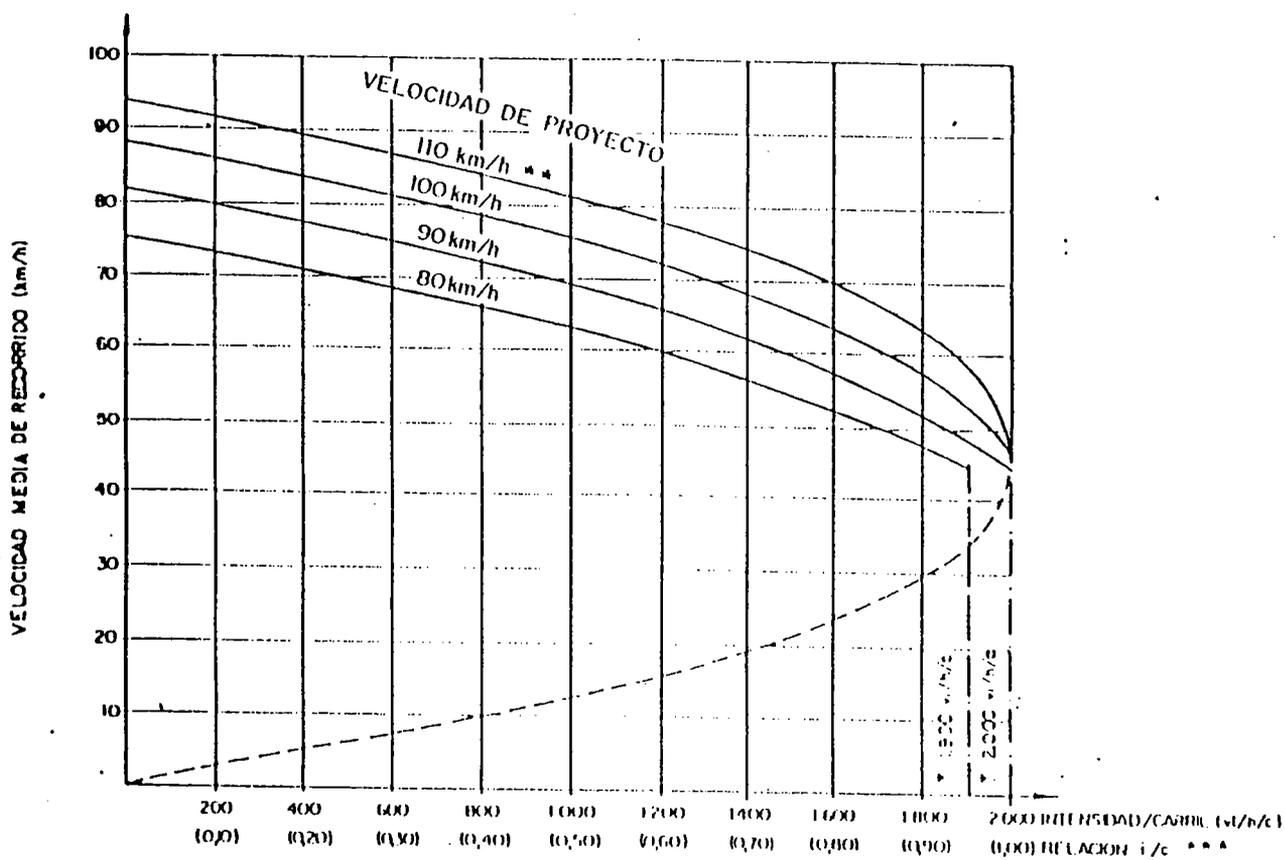
TABLA 6.- FACTOR DE AJUSTE DEBIDO A LA EXISTENCIA DE CAMIONES, AUTOBUSES Y VEHICULOS DE RECREO (E_C , E_B y E_R)

Factor	TIPO DE TERRENO		
	Llano	Ondulado	Montañoso
E_C para camiones	1.7	4.0	8.0
E_B para autobuses	1.5	3.0	5.0
E_R para vehículos de recreo (VR)	1.6	3.0	4.0

TABLA 6.1. FACTOR DE AJUSTE SEGUN MEDIANA Y CARACTER RURAL O URBANO DE LA ZONA ATRAVESADA EN CARRETERAS MULTICARRILES (F_E)

TIPO	CON MEDIANA	SIN MEDIANA
Rural	1.00	0.95
Suburbano	0.90	0.80

FIGURA 1.- RELACION ENTRE LA VELOCIDAD DE CIRCULACION Y LA INTENSIDAD (I/C) PARA CADA VELOCIDAD DE PROYECTO.



- * capacidad
- ** refleja el límite de velocidad de 88 km/h
- *** relación i/c basada en la capacidad de 2.000 veh. ligeros/h-carril; se aplica sólo para las velocidades de proyecto de 96 y 112 km/h y en España 90, 100 y 110 km/h

Figura 7-2. Características de velocidad-intensidad para segmentos de carreteras multi-carriles con circulación continua.

Fuente: "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1985

2.- CARRETERAS DE UNA CALZADA CON DOS CARRILES.

El método es análogo al empleado en carreteras con dos calzadas.

PROCESO

I. DATOS GEOMETRICOS

- anchura de calzada y arcenes
- velocidad de proyecto
- % de longitud sin adelantamiento (longitud de visibilidad = 450 m.).
- Longitud del tramo
- Tipo de terreno (LL,O,M) Tabla 1.

II. DATOS DE TRAFICO

- Volumen total de calzada I_h v/h (corresponde a cada una de las intensidades horarias elegidas como significativas en la distribución horaria de la misma (Apéndice 1).
- Factor Hora punta en función de la intensidad horaria o del nivel de servicio. Tabla 7.

- Reparto por sentidos

- Composición del tráfico. Caso de no disponer

$$\text{utilizar} \left\{ \begin{array}{l} \text{Pesados } P_C = 0,14 \\ \text{Recreo } P_R = 0,04 \\ \text{Autobuses } P_B = 0 \end{array} \right.$$

- IS = INTENSIDAD = Volumen /Factor hora punta = IS

3.- ANALISIS

$$\frac{L}{C} = \frac{IS}{2800 \times f_e \times f_A \times f_{vp}}$$

- IS - Intensidad de servicio obtenido en el punto anterior.
- F_R - Factores de ajuste por reparto de tráfico. TABLA 8.
- F_A - " " " efecto de anchura de carriles y arcenes. TABLA 9.
- F_{up} - Factor combinado por existencia de camiones, autobuses y vehículos de recreo.

$$f_{up} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_R(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)}$$

Los equivalentes en vehículos ligeros de camiones (E_C), vehículos de recreo (E_R) y autobuses (E_B) vienen en función del tipo de terreno. TABLA 10.

- La velocidad de circulación de ligeros (*) se determina por medio de la relación $\frac{I}{C}$ y la velocidad de proyecto y el % de visibilidad mediante las figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7. Para el resto de velocidades de proyecto se interpola.

(*) El nuevo manual de capacidad no desarrolla este punto por lo cual y hasta nuevas investigaciones se adopta las del antiguo Manual de Capacidad.

TABLAS Y FIGURAS PARA CARRETERAS DE UNA CALZADA Y 2 CARRILES

TABLA 1.- Tipo de terreno según inclinación y longitud de la rampa.

LLANO	Pendiente \leq 2%
ONDULADO	Pendiente 3-4% Long. \leq 1.000 m.
	Pendiente 5-6% " \leq 500 m.
MONTAÑOSO	Resto

TABLA 7. FACTOR HORA PUNTA EN FUNCION DE LA INTENSIDAD HORARIA

A. CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO			
INTENSIDAD HORARIA TOTAL DE CALZADA (v/h)	FACTOR DE HORA PUNTA FHP	INTENSIDAD HORARIA TOTAL DE CALZADA (v/h)	FACTOR DE HORA PUNTA FHP
100	0.83	1.000	0.93
200	0.87	1.100	0.94
300	0.90	1.200	0.94
400	0.91	1.300	0.94
500	0.91	1.400	0.94
600	0.92	1.500	0.95
700	0.92	1.600	0.95
800	0.93	1.700	0.95
900	0.93	1.800	0.95
		\geq 1.900	0.96

B. CALCULO DE LAS INTENSIDADES DE SERVICIO					
NIVEL DE SERVICIO	A	B	C	D	E
FACTOR DE HORA PUNTA	0.91	0.92	0.94	0.95	1.00

TABLA 8. FACTOR DE AJUSTE PARA REPARTO DEL TRAFICO EN LOS DOS SENTIDOS (f_r)

REPARTO POR SENTIDOS	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
FACTOR DE AJUSTE f_r	0.71	0.75	0.83	0.89	0.94	1.00

TABLA 9. FACTOR DE AJUSTE POR EL EFECTO COMBINADO DE ANCHURA Y ARCENES (f_A)

Anchura útil del arcén ^a	CARRILES 3,6 m ^b		CARRILES 3,3 m ^b		CARRILES 3 m ^b		CARRILES 2,7 m ^b	
	NIVEL SERV.		NIVEL SERV.		NIVEL SERV.		NIVEL SERV.	
	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
1,8	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
1,2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0,74
0,6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0,70
0,0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

^a Cuando la anchura del arcén derecho es distinta a la del arcén izquierdo, tomar el valor medio.

^b Para el análisis de rampas especiales utilícese los factores del NSI para toda velocidad \leq 72 km/h.

TABLA 10.— EQUIVALENTES EN VEHICULOS LIGEROS DE CAMIONES, VEHICULOS DE RECREO Y AUTOBUSES (E_C , E_R y E_B).

TIPO DE VEHICULO	NIVEL DE SERVICIO	TIPO DE TERRENO		
		LLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
Camiones, E_C	A	2.0	4.0	7.0
	B y C	2.2	5.0	10.0
	D y E	2.0	5.0	12.0
VR, E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B y C	2.5	3.9	5.2
	D y E	1.6	3.3	5.2
Autobuses, E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B y C	2.0	3.4	6.0
	D y E	1.6	2.9	6.5

FIGURAS 2 a 7. RELACION ENTRE LA VELOCIDAD DE CIRCULACION Y LA INTENSIDAD (I/C) PARA CADA VELOCIDAD DE PROYECTO.

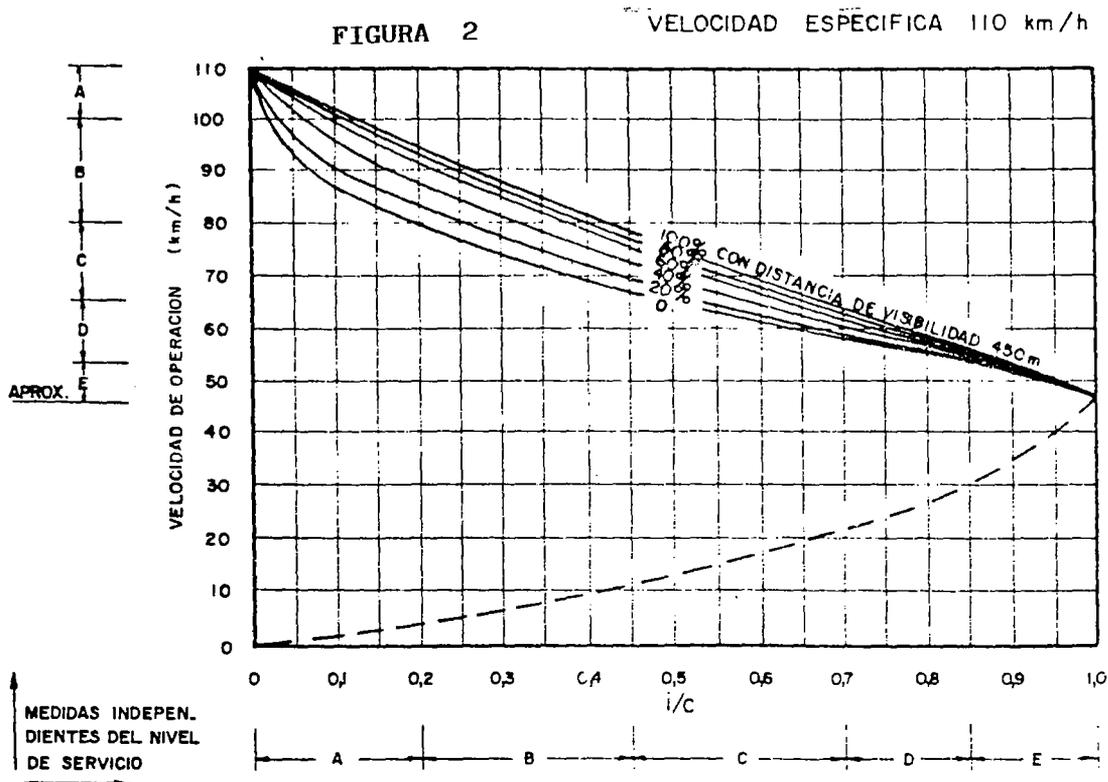


FIGURA 3 VELOCIDAD ESPECIFICA 100 km/h

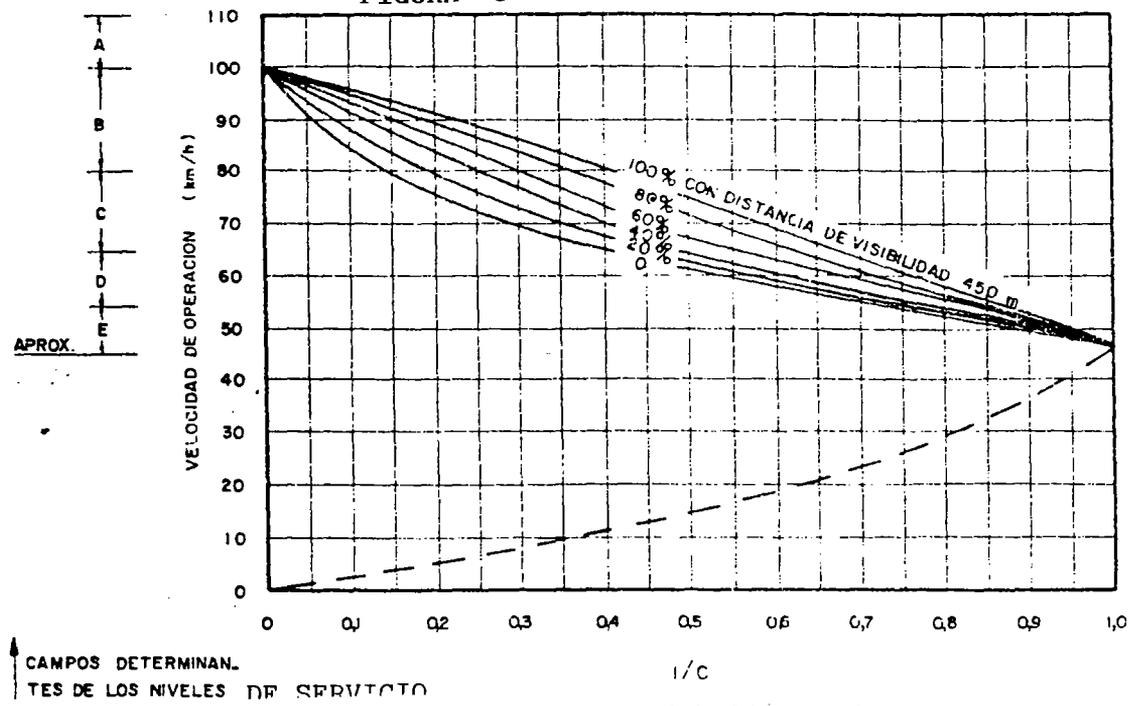


FIGURA 4

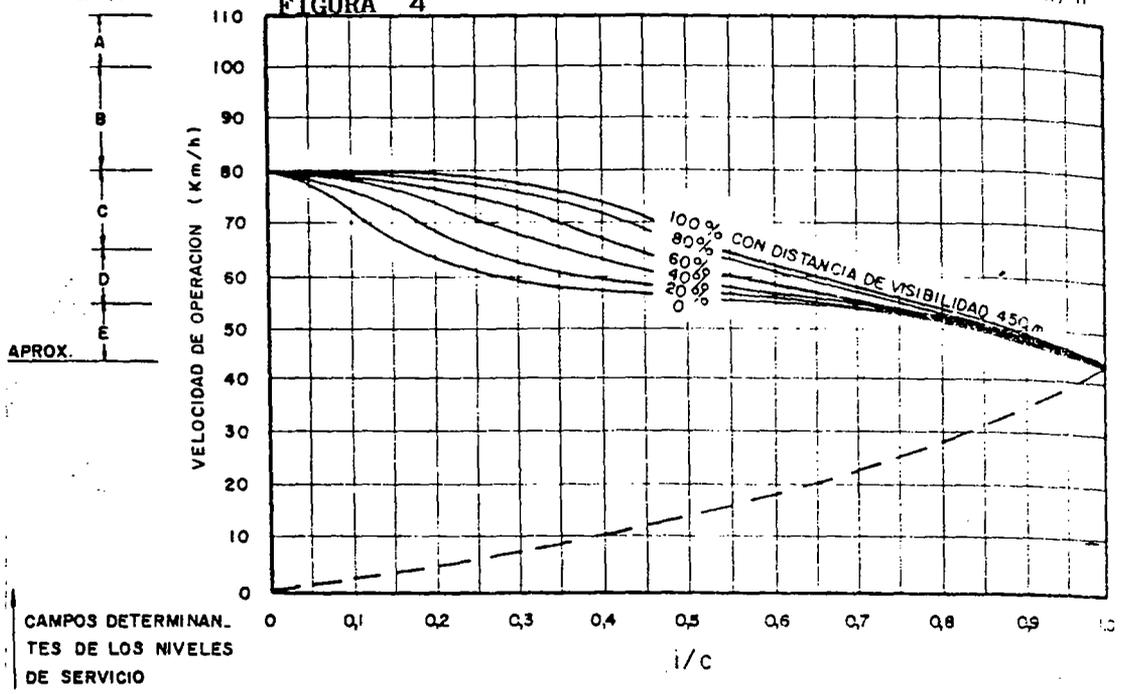


FIGURA 5

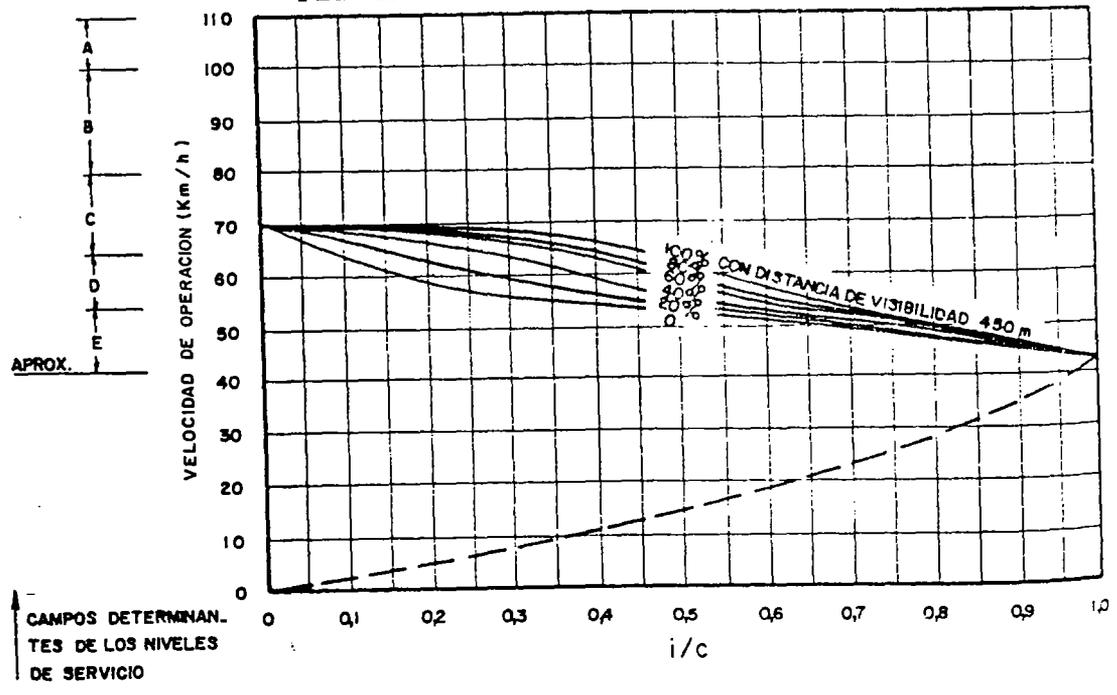


FIGURA 6 VELOCIDAD ESPECIFICA 60 km/h

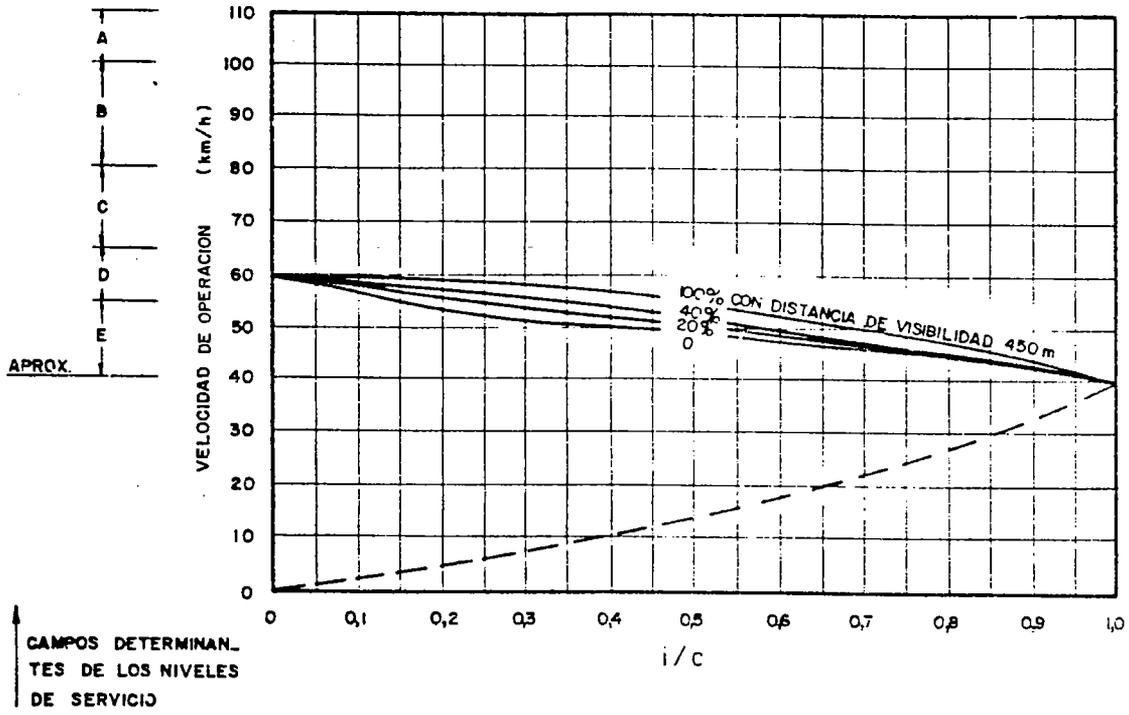
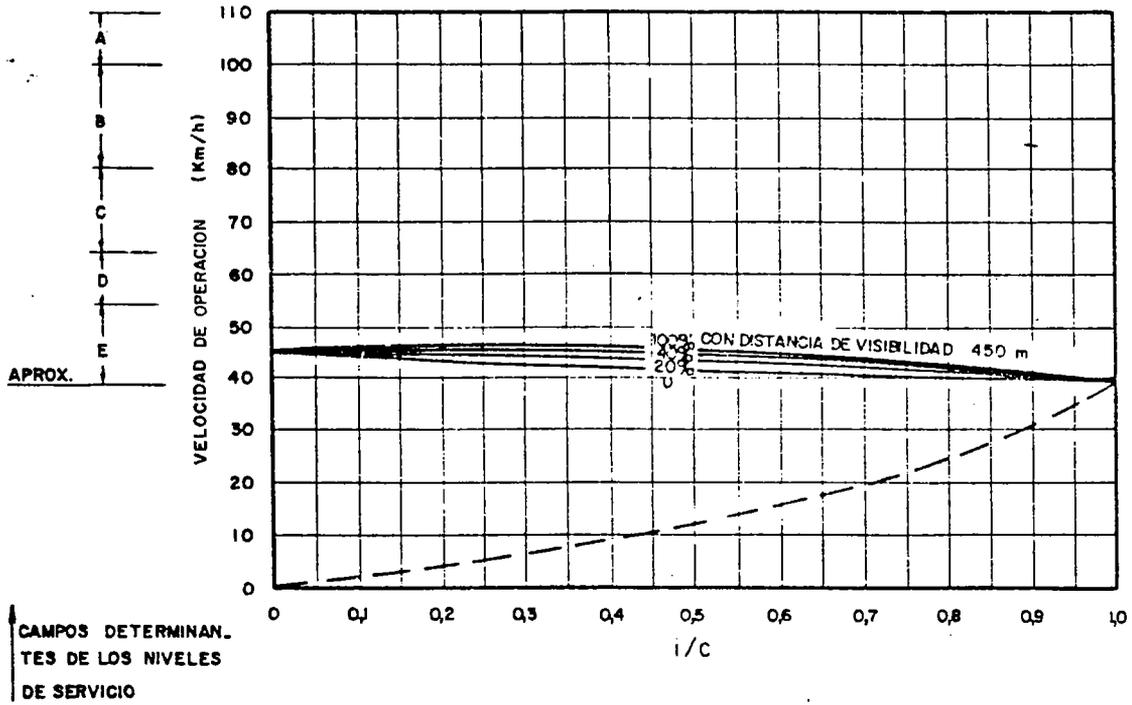


FIGURA 7 VELOCIDAD ESPECIFICA 45 km/h



**APENDICE IV. Relación entre la velocidad de recorrido
de vehículos ligeros y pesados.**

APENDICE IV. RELACION ENTRE LA VELOCIDAD DE RECORRIDO DE VEHICULOS LIGEROS Y PESADOS.

Con la estructura horaria dividida en clases homogéneas I_h (Apéndice 2) determinamos la velocidad de recorrido de los v. ligeros en función de la propia intensidad I_h y de la capacidad (Apéndice 3).

Falta obtener para los vehículos pesados la velocidad de circulación para cada una de las clases.

Cuando no se haya determinado empíricamente puede utilizarse el gráfico adjunto, recomendando por su comodidad la obtenida en Despeñaperros.

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

siendo V_p = Velocidad pesados (Km/h)
 V_L = " ligeros (Km/h)

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

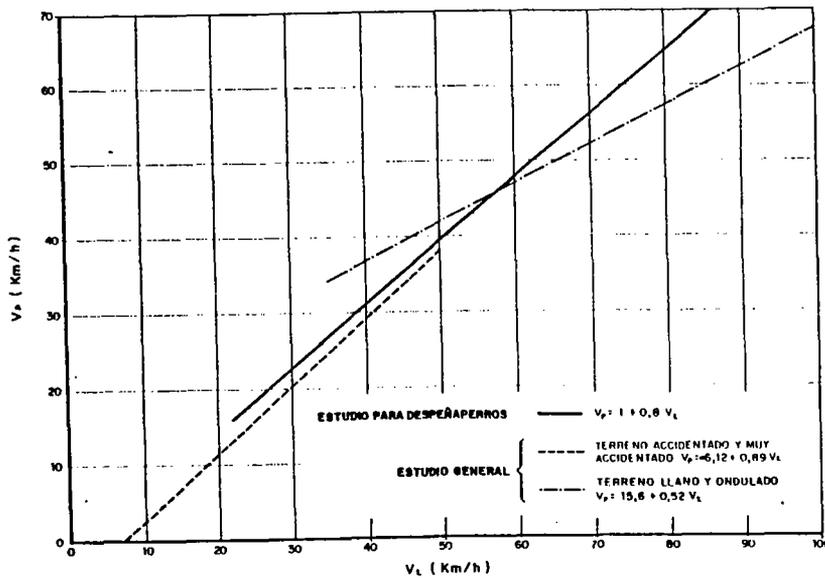


GRAFICO 9