

**LA EVALUACION DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS**

**Pedro M. Galán**

**1988.2**

## 3.4.B. LA EVALUACION DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS

**Ponente:** D. PEDRO M. GALAN BUENO  
Dirección General de Carreteras. M.O.P.U.

La necesidad de racionalizar los procesos de inversión en carreteras obliga a plantearse las siguientes preguntas, antes de proceder a la aprobación de una actuación concreta:

- ¿Es necesario actuar en ese tramo?
- ¿Cuál es el momento temporal óptimo?
- ¿Qué alternativa es la que mejor resuelve la necesidad planteada?

Con independencia de otros *criterios* (accesibilidad, tráfico, accidentes, homogeneidad tipológica de un itinerario, ambientales, disminución de travesías de población, etc.) y *técnicas* (básicamente reunificadas en un análisis multicriterio) el conocimiento de la *rentabilidad económica*, es, por sí misma, una herramienta de primera magnitud para la resolución de las preguntas formuladas con anterioridad (1).

Se expone a continuación el manual de evaluación económica de estudios y proyectos de carreteras desarrollado por el Servicio de Planeamiento de la Dirección General de Carreteras del MOPU y que en la

(1) El FEDER, al igual que el resto de organismos europeos, recomiendan prioritariamente la realización del estudio económico, siendo obligatorio en aquellos proyectos cuyo coste sea superior a 15 millones de ECUS (2.000 millones de pesetas 1988).

actualidad, hasta la aprobación de uno definitivo, es la base sobre la que se están efectuando las evaluaciones económicas, tanto de carácter interno como las originadas por la solicitud de una financiación a organismos europeos.

De los cuatro apéndices de que consta el texto sólo se acompaña el I (Estimación del crecimiento de tráfico). De los restantes, señalar sólo su existencia y sí indicar el grado de actualización al que se están sometiendo los mismos y que con seguridad aparecerán en una nueva edición en enero de 1989.

El apéndice II recoge un método para determinar la estructura horaria de tráfico. El servicio de Datos Básicos (D.G.C.-MOPU) ya está explotando la información existente, y en la próxima edición sobre estaciones permanentes aparecerán dicha información.

El apéndice III recoge un método para determinar la velocidad de recorrido en función de las distintas intensidades de tráfico con el método del nuevo manual de carreteras americano.

Se está ultimando una investigación en el Servicio de Planeamiento de la D.G.C. (MOPU), en base a la información sobre velocidades de vehículos ligeros y pesados y las intensidades horarias de tráfico a partir de los datos proporcionados por las nuevas

estaciones de aforos. Podemos adelantar que en las carreteras de dos carriles, donde el manual nuevo se muestra especialmente parco y con notables diferencias con el anterior, *la velocidad mínima en nivel E no baja del 75% de la velocidad de proyecto*, pese a admitir una capacidad máxima de 2.800 vehículos/hora (1).

En el caso de autovías y autopistas son válidos los resultados que recoge el nuevo manual.

El apéndice IV recoge un gráfico que correlaciona la velocidad de los vehículos pesados en función de la de los vehículos ligeros.

Dentro de la misma investigación, a lo que se hacía referencia con ocasión del apéndice III, se está calculando la correlación que existe en la actualidad entre los vehículos ligeros y pesados (2).

---

(1) En el manual antiguo, y con una capacidad máxima de 3.000 vehículos/hora, la velocidad mínima en nivel E es de 45 km./h., con una disminución importantísima sobre la velocidad de proyecto.

---

(2) El texto que viene a continuación es el propio manual, dado que la conferencia ha consistido en una explicación del mismo y consideramos que poco valor tienen los comentarios al mismo si se carece del documento cuya distribución ha sido estrictamente institucional (nota del autor).

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

## INDICE

Consideraciones en torno a los estudios de rentabilidad de carreteras ...	4.2. Indicadores .....
1. Identificación y definición del proyecto y su zona de influencia .....	4.2.1. Indicadores que varían con la tasa de actualización .....
1.1. Tramificación .....	4.2.1.1. VAN. Valor actualizado neto .....
1.2. Características geométricas de los tramos .....	4.2.1.2. B/C. Relación beneficio-coste .....
2. Análisis de la demanda .....	4.2.1.3. PRI. Período de recuperación de la inversión .....
3. Previsión de costes y beneficios. Vida útil .....	4.2.2. Indicadores independientes de la tasa de actualización .....
3.1. Vida útil .....	4.2.2.1. TIR. Tasa interna de retorno .....
3.2. Costes del proyecto .....	4.3. Criterios de selección .....
3.2.1. Gastos de primera inversión .....	
3.2.2. Gastos de rehabilitación y conservación ..	
3.3. Beneficios de cada alternativa .....	APENDICE I. Crecimiento y Predicción del tráfico .....
3.3.1. Costes de funcionamiento .....	1. Crecimiento del tráfico nacional y por corredores .....
3.3.1.1. Gastos de amortización .....	2. Predicción del Tráfico en la RIGE .....
3.3.1.2. Gastos de conservación .....	
3.3.1.3. Consumo de combustibles .....	APENDICE II. Estimación de la estructura horaria del tráfico
3.3.1.4. Gastos de lubricantes .....	Ejemplo .....
3.3.1.5. Gastos de neumáticos .....	APENDICE III. Cálculo de la capacidad de la carretera y de la velocidad de operación de turismos para distintas intensidades de tráfico .....
3.3.2. Costes del tiempo de recorrido .....	1. Carreteras con calzadas separadas .....
3.3.3. Costes de los accidentes .....	2. Carreteras de una calzada con dos carriles .....
3.3.3.1. Determinación del número de accidentes .....	
3.3.3.2. Coste unitario de los accidentes .....	APENDICE IV. Relación entre la velocidad de recorrido de vehículos ligeros y pesados .....
4. Criterios e indicadores de rentabilidad económica. Tasa de actualización .....	
4.1. Tasa de actualización o descuento .....	

## 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 1980.

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 inciden 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 (sólo 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.

#### 1.2. 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.
- Distancia 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.

(1) Como tramos llanos suele considerarse aquellos cuya inclinación media oscila entre  $-2\%$  y  $+2\%$ .

(\*) 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.

## 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).

## 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 aquéllos redunde en una variación de carga sobre el del estudio. Para ello es preciso disponer de unas encuestas de Origen-Destino que nos permitan conocer 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.

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

- \* A falta de estudios de detalle se ha recogido en el *Apéndice 1* las estimaciones 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 intensidad de tráfico.

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

## 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 presenten un carácter cíclico (8 y 1 años, respectivamente).

### 3.2.1. Gastos de primera inversión

Pueden extraerse del proyecto o 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 presupuestos 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 efectúa el análisis se distribuirá entre los años de realización de la obra).

### 3.2.2. Gastos de rehabilitación y conservación (2)

#### Primer método

Se trata independientemente los gastos de conservación de los de rehabilitación.

a) Carreteras de dos calzadas.  
Rehabilitación:  $10 \cdot 10^6$  ptas./km. en cada calzada cada ocho años.

Conservación: 100.000 ptas./km. en cada calzada 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 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	20	28	0.1429
5	13	21	29	0.1571
6	14	22	30	0.1714
7	15	23		0.1897
8	16	24		0.2
9	17	25		10.1

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

b) Carreteras de una calzada.  
Rehabilitación:  $10 \cdot 10^6$  ptas./km. cada ocho años.

Conservación: 150.000 ptas./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. UNA CALZADA

AÑO				COSTE/km. ( $\times 10^6$ ptas.)
1				0.15
2	10	18	26	0.1714
3	11	19	27	0.1929
4	12	20	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 desde la última rehabilitación.

(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.

## Segundo método

Unir los conceptos de rehabilitación y conservación, considerando los siguientes costes (1):

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

Caso de utilizar el segundo 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.

(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 más 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 más 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.

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

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).

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 = 1.036.600 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. Coste 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.
- b) Longitud recorrida.
- c) Características de los recorridos: Geometría y firme, urbana, interurbana, tipo de tráfico.

(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 (PESADOS, 1216, 1217 y 1234 y RENAULT D-210) en diciembre de 1987 y que son a su vez representativos de la carga media.

d) Conservación y mantenimiento.

Según coinciden todos los autores, desde un punto de vista socioeconómico 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 sólo 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:

a) Turismos

Hipotesis:

- 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%.

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

b) Camiones

Hipotesis:

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

(\*) 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 segunda mano, existiendo un deslizamiento al alza del 15%, lo que permite converger en un precio final próximo al medio.

(\*\*) 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 ptas.

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

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

$$\text{CPK} = 4,91 \text{ ptas./km. (***)}$$

### 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:

$$\text{CPK} = 17,22 \cdot V^{-0,44}$$

(Ptas./km. enero 88)

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

Tabulando la fórmula anterior tenemos:

Velocidad	Coste (CPK) ptas./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 (punto 3.3).

(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

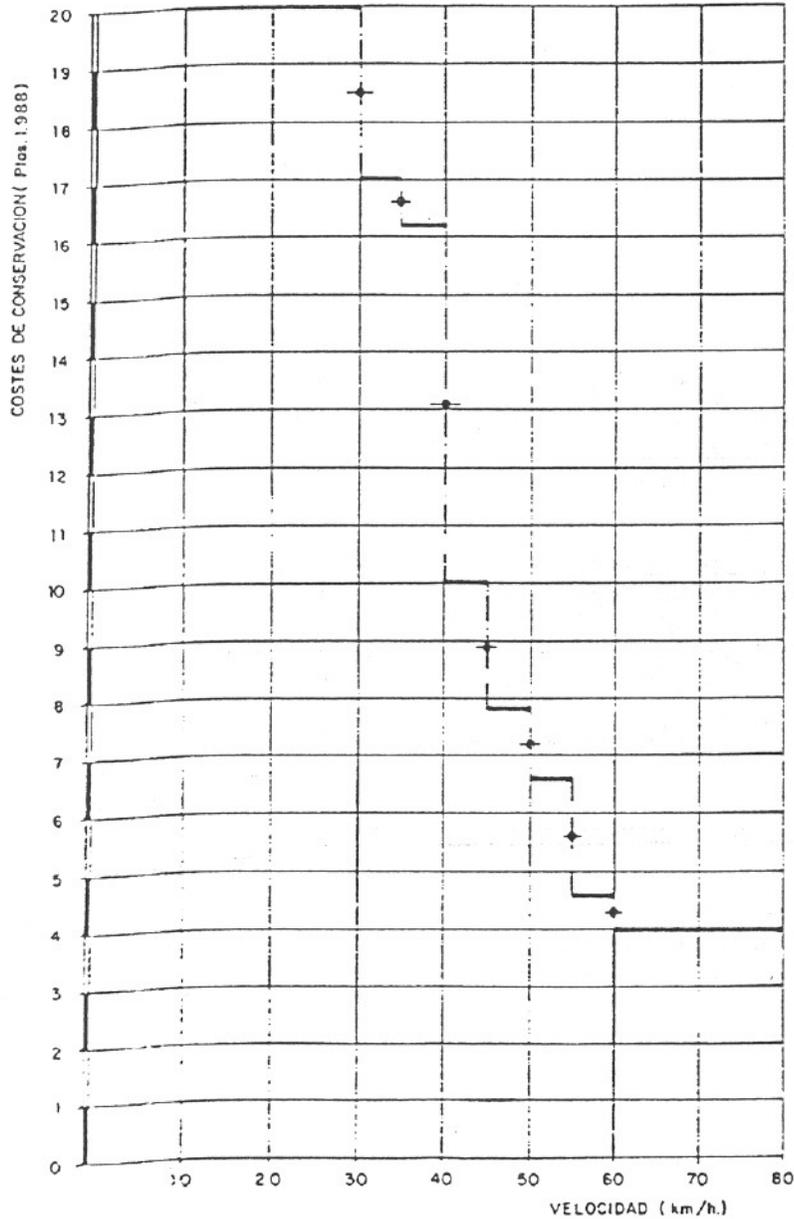
Se utilizará la curva de la Figura 1 obtenida actualizando a enero de 1988 los datos de la encuesta y Diarios de operaciones rea-

lizada para el estudio de costes de funcionamiento de turismo y camiones en España (1).

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

Fig. 1

### COSTES DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO CAMIONES



(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 COMBUSTIBLE

#### 3.3.1.3.1. Tramos Interurbanos

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 o llano

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

C = consumo en c.c. por km.  
V = velocidad de recorrido en km./h.

h.

p = inclinación en % (+ ó 0)  
— 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 o llano.

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

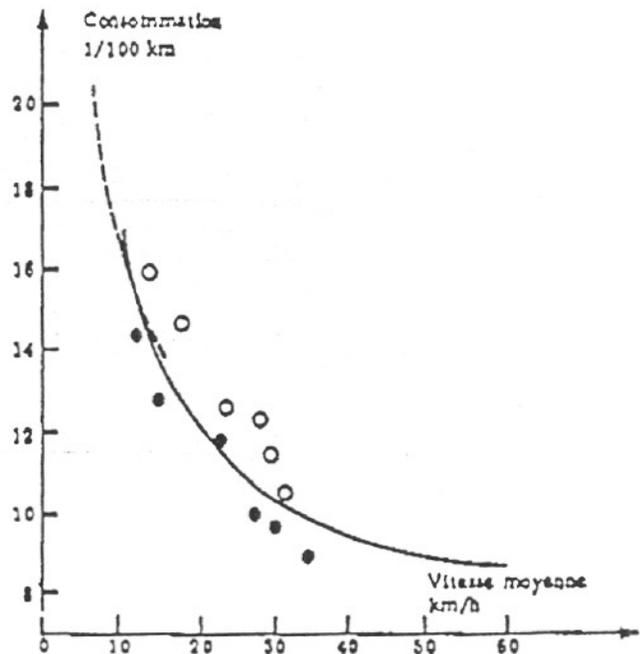
— Pendiente

$$C = 213,31 - 6,15 \cdot V + 7,42 \cdot 10^{-2} \cdot V^2 + p [6,08 + 3,82 \cdot 10^{-2} \cdot V + 7,27 \cdot 10^{-4} \cdot V^2]$$

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

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

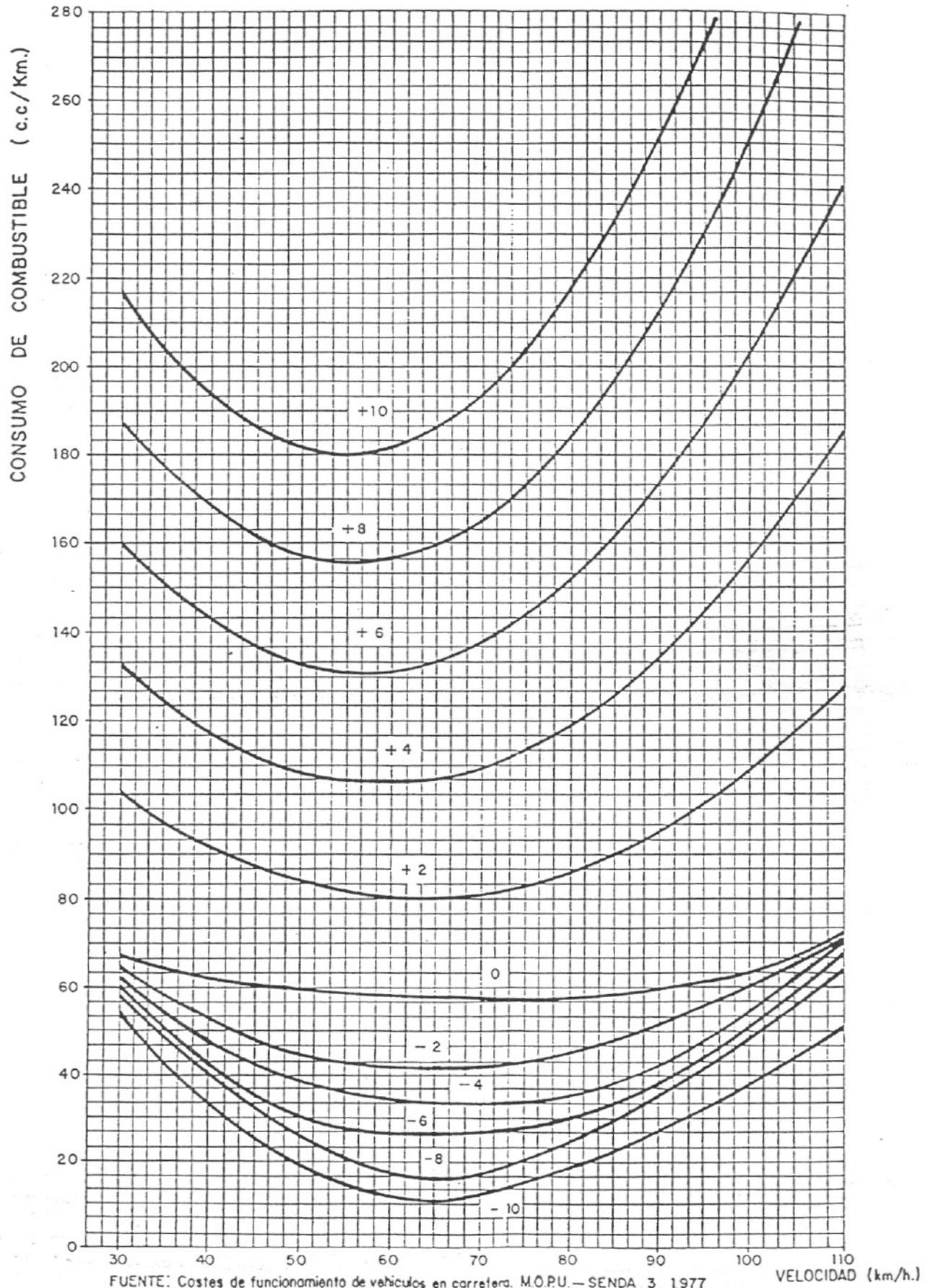
#### 3.3.1.3.2. Tramos urbanos, Turismos (1)



(1) Hasta nuevas investigaciones puede utilizarse esta curva obtenida para un turismo medio francés. Fuente: Consumo de carburantes (OCDE. 1982). Para vehículos pesados utilizan la fórmula de tramos interurbanos.

Fig. 2

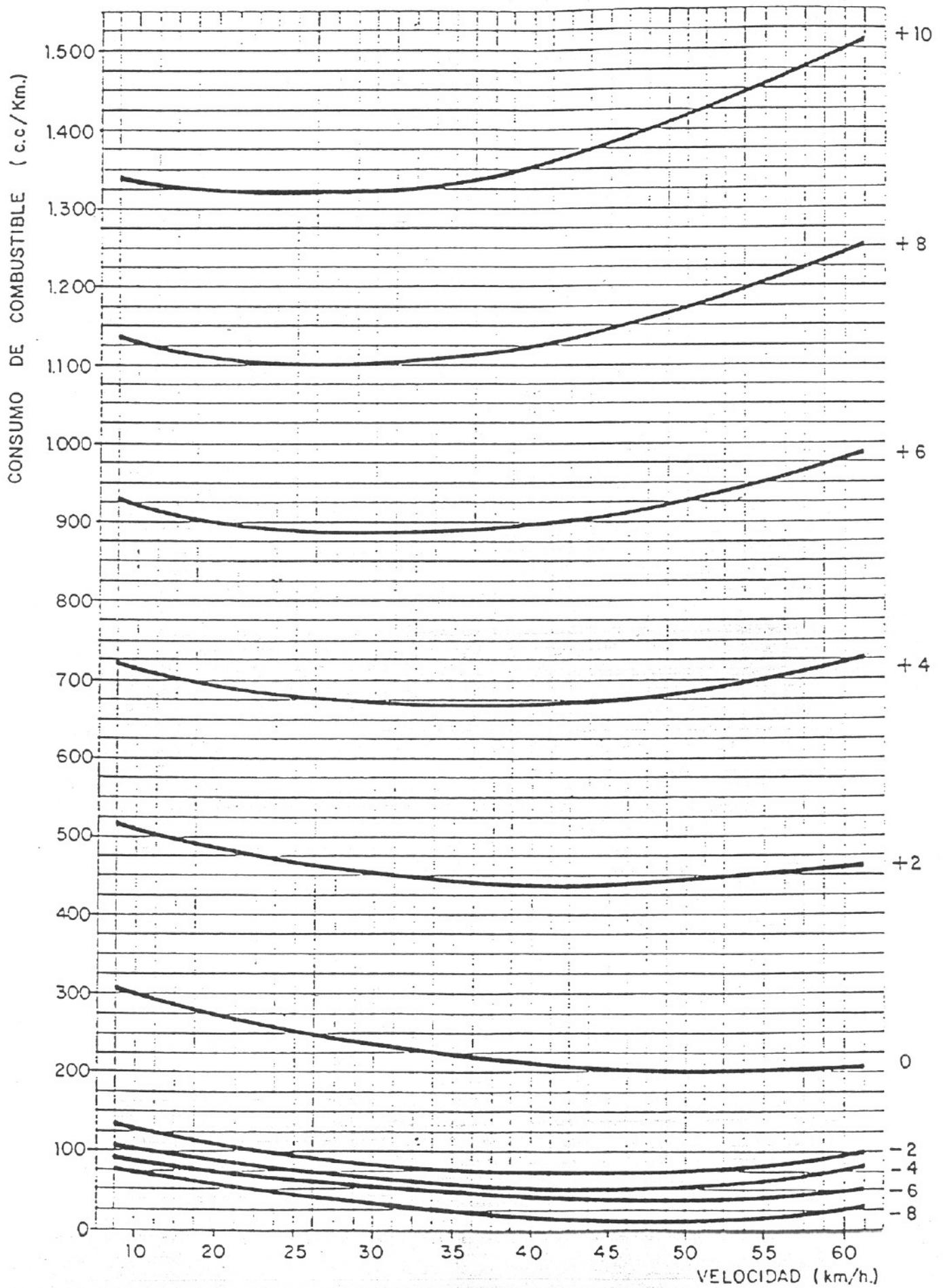
CURVAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE  
TURISMOS, RAMPAS Y PENDIENTES



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

Fig. 3

CURVAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE  
CAMIONES CON CARGA MEDIA, RAMPAS  
Y PENDIENTES



FUENTE: Costes de funcionamiento de vehiculos en carretero.

## 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 ptas./l. (2)
Gas-oil	33,79 ptas./l.

## COSTES DE COMBUSTIBLES

$$CPK = C \cdot \text{Precio}$$

CPK = Coste/Km.

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

P = Precio en ptas./c.c.

\* Como órdenes de magnitudes señalaremos que los *turismos* presentan un coste de *2 ptas./km.* (a 70 km./h. y pendiente 0%), pudiendo llegar a *6 ptas./km.* (90 km./h. y rampa del 6%).

\* Los camiones presentan un coste medio de *7,1 ptas./km.* (0% de pendiente, media carga y velocidad entre 40 y 60 Km./h.), pudiendo alcanzar las *75 ptas./km.* (rampa de +6% y plena carga).

### 3.3.1.4. GASTOS DE LUBRICANTES

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

#### A) TURISMOS

$$CPK = 0,012 \cdot C \cdot PA$$

(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 ptas./l.) y de la NORMAL (27,29 ptas./l.), siendo sus consumos respectivos el 81,66% y el 18,34%.

siendo CPK = 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 ptas./l. (enero 88).

#### B) CAMIONES

$$CPK = 0,008 \cdot C \cdot PA$$

siendo CPK = Coste de aceite por kilómetro en camiones.

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

PA = Precio de *aceite sin impuestos* = 380 ptas./l.

\* Como órdenes de magnitud indicaremos que el coste de aceite del turismo es *0,24 ptas./km.* (a 90 km./h. y pendiente 0%) y en los camiones de *0,64 ptas./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

$$CPK = \frac{P_4}{R_1}$$

CPK = Coste por kilómetro.

P<sub>4</sub> = Precio de cuatro ruedas. Las cuatro ruedas de los vehículos-tipo (165 x 70 x 13) tienen un precio de *31.144 ptas.* (enero 88. *Sin impuestos*).

R<sub>1</sub> = Recorrido entre cambios de ruedas. Tabla 1.

(1) Costes de funcionamiento de vehículos por carretera.

## B) CAMIONES

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

CPK = Coste por kilómetro.

$P_6$  = Precio sin impuestos de las seis ruedas tipo del vehículo = (426,834 ptas. (enero 88).

$R_c$  = Recorrido medio. Tabla 1.

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

Tabla 1. CAMBIO DE NEUMATICOS SEGUN CARACTERISTICAS DE TRAFICO Y DE LA CARRETERA

### A) TURISMOS

Veloc. básica	Nivel de servicio	Cambio de neumáticos (km.) $R_i$			
		Recto y llano	Recto y ondulado	Curvas y accident.	Muchas curvas y muy accidentado
30	A	100.000	100.000	33.300	
	B-C	77.000	33.600		29.600
	D	50.000	77.000	50.000	15.900
40	A	100.000	77.000	30.300	
	B-C	77.000	55.600		25.000
	D	43.500	66.700	43.500	13.400
50	A	77.000	77.000	28.600	
	B-C	77.000	50.000		25.000
	D	50.000	67.000	43.000	17.200
60	A	66.700	66.700	23.000	
	B-C	66.700	43.500		22.000
	D	43.000	55.600	40.000	15.700
70	A	55.600	55.600	20.000	
	B-C	55.600	33.300		18.900
	D	40.000	50.000	33.300	13.300
80	A	50.000	43.500	13.900	
	B-C	50.000	28.600		13.900
	D	35.700	43.500	28.600	12.050
90	A	40.000	35.700	—	
	B-C	43.500	22.222		—
	D	33.300	40.000	25.000	—
100	A	28.600	26.300	—	
	B-C	33.300	—		—
	D	28.600	30.300	—	—

## CAMIONES

Veloc. básica	Nivel de servicio	Cambio de neumáticos (km.) $R_c$			
		Recto y llano	Recto y ondulado	Curvas y accident.	Muchas curvas y muy accidentado
30	A	166.700	125.000	41.700	
	B-C	142.900	71.400		37.000
	D	90.900	111.100	66.700	22.000
40	A	166.700	125.000	38.500	
	B-C	125.000	66.700		29.400
	D	76.900	90.900	52.600	18.900
50	A	142.900	111.100	34.500	
	B-C	125.000	58.800		30.300
	D	83.300	90.900	52.600	20.400
60	A	125.000	90.900	29.400	
	B-C	111.100	50.000		26.300
	D	71.400	83.300	45.500	18.500
70	A	100.000	76.900	24.400	
	B-C	90.900	41.700		22.700
	D	66.700	71.400	40.000	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 generado 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:

$$CPT = T \cdot P$$

CPT = Coste por tiempo del tramo.

T = Tiempo de recorrido del tramo en horas.

P = Valor del tiempo en ptas./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).

#### 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 negocio y/o transporte 1,71 plazas/veh. (1).
- % viajes recreo + ocio + desplazamiento trabajo - domicilio = 62% (1).
- Ocupación recreo + ocio + desplazamiento trabajo - domicilio = 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 ptas./hora (4 y 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) 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* ( $\pm 20\%$ ) en los turismos.

(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. 88.

(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 el 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).

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

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

#### 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 carretera se efectúa de una doble forma:

- a) CUANTITATIVA: Supone la imputación a cada una 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 subsidiariamente 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:

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

(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 cogen todos los sectores y en pesados, sólo el sector Transportes).

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

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

- CPA = Coste por accidentes en el tramo completo durante un año.
- NM = Número de muertos durante un año en el tramo.
- NH = Número de heridos durante un año en el tramo.
- CM = Coste unitario medio un muerto.
- CH = Coste unitario medio un herido.

b) CUALITATIVA: Viene dada por la propia seguridad que ofrece la carretera y por tanto es inversamente proporcional al número 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 número de muertos y heridos que los índices de peligrosidad y mortalidad porque los costes unitarios están referidos a los primeros.

*Hipótesis:* El número 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 número 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 número 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 número 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 tres accidentes) del tramo concreto.

#### B) NUEVAS ALTERNATIVAS

Disponemos de dos métodos.

##### B.1. 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 número 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 número de accidentes, *K* el número de heridos por accidente y *L* la longitud del tramo.

Tipo	$K = \frac{\text{n.º heridos}}{\text{n.º accidentes}}$
Carretera convencional	1,76
Autopista libre	1,72
Autopista peaje	1,69
TOTAL RIGE	1,75

(Memoria de Accidentes de la D.G.C. 1987. Resumen General).

Para aquellas provincias que carezcan de información pueden utilizarse las medidas nacionales.

	Autopistas y Autovías	RIGE sin autopistas	
		Con travesías	Sin travesías
IP	24	46	38
IM	2,69	5,49	5,03

## B.2. 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 ( $\Delta$ ), así obtenido se multiplica por el número 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. Número calzada  $\times$  (ancho calzada + arcenes).
- FC = Número de curvas/km.
- R = Radio de curvatura.

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

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

## 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 diez 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 cuatro zonas en que está dividido el territorio español.

Costes unitarios (ptas. 1988) (3 y 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 Fénix, 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:

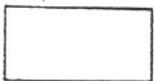
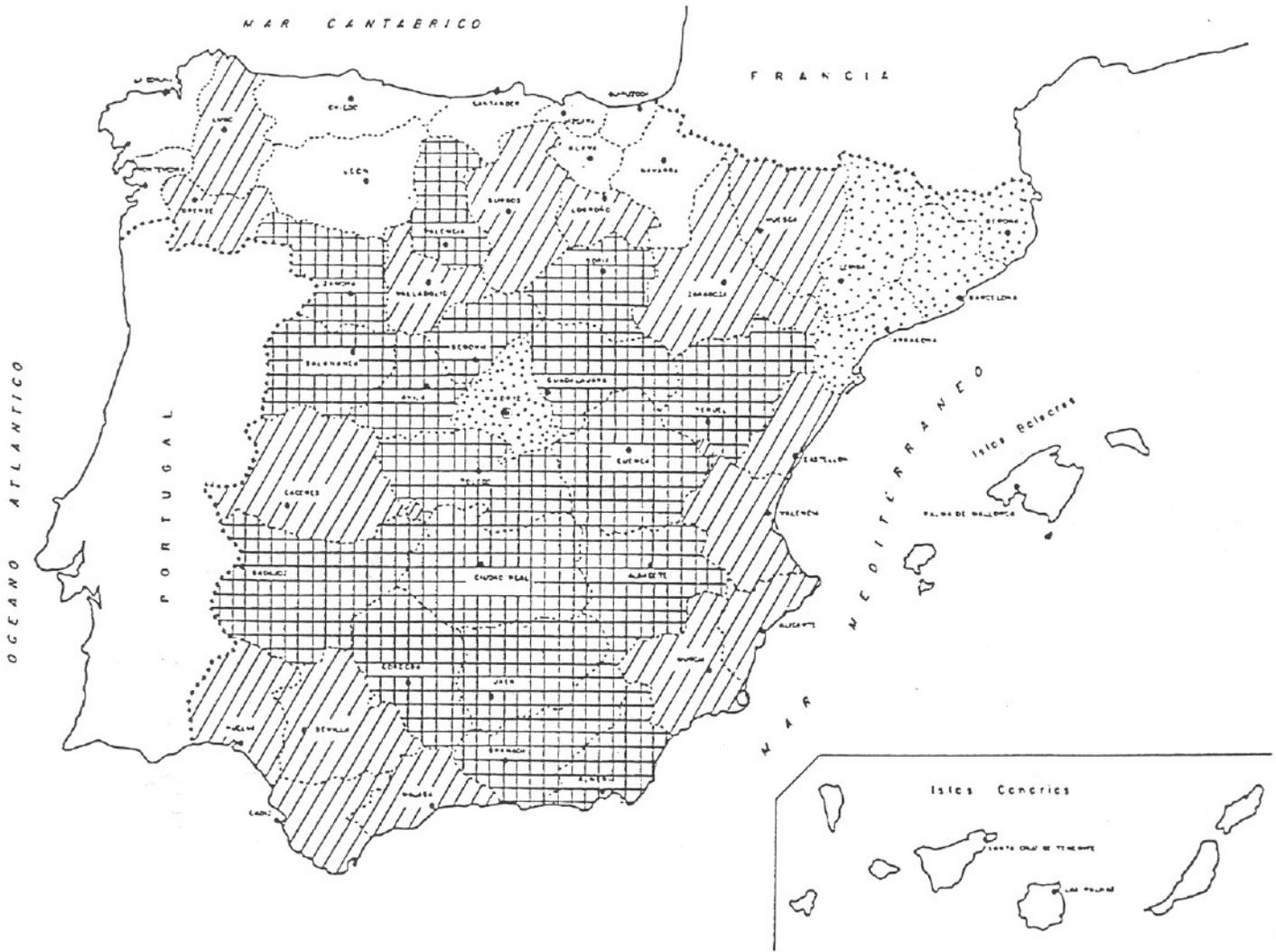
Índices de mortalidad por provincias 1987

	N.º de Muertos R.I.G.E.						Índices de Mortalidad		
	Autopistas Peaje libre		Resto Estado	De ellos (Tra- ves)	Total R.I.G.E.	R.I.G.E. sin autop. peaje	Aut. peaje	R.I.G.E. sin Aut. peaje	
Asturias	5	—	—	—	5	—	3,16	—	
Bacete	—	—	45	(2)	45	45	—	5,09	(4,86)
Alicante	8	—	49	(9)	100	94	2,41	5,18	(4,68)
Almería	—	—	29	(5)	29	29	—	3,90	(3,23)
Ávila	1	—	22	(5)	23	28	3,71	6,38	(4,85)
Badajoz	—	—	28	(0)	28	28	—	3,66	(3,66)
Baleares	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Barcelona	11	4	66	(10)	81	70	0,83	3,22	(3,76)
Burgos	7	—	95	(13)	102	95	4,13	9,03	(7,79)
Cáceres	—	—	21	(1)	21	21	—	3,19	(3,04)
Cádiz	8	—	43	(9)	45	43	3,74	4,27	(3,37)
Castellón	19	—	33	(0)	51	30	5,10	4,21	(4,21)
Ciudad Real	—	—	78	(4)	78	78	—	10,29	(5,75)
Córdoba	—	—	37	(1)	37	37	—	5,55	(5,43)
La Coruña	2	—	70	(7)	72	70	1,53	7,32	(6,58)
Cuenca	—	—	53	(5)	53	53	—	6,56	(6,22)
Gerona	13	—	33	(3)	46	33	2,75	5,77	(5,83)
Granada	—	—	53	(0)	53	53	—	7,83	(7,53)
Guadalajara	—	—	42	(0)	42	42	—	8,32	(8,32)
Gipúzcoa	4	—	—	—	4	—	1,36	—	—
Huelva	—	—	32	(1)	32	32	—	6,64	(6,44)
Huesca	10	—	40	(2)	50	40	7,84	6,39	(6,07)
Jaén	—	—	40	(1)	40	40	—	5,64	(3,50)
León	6	—	68	(20)	74	68	10,89	7,34	(5,18)
Lérida	8	—	42	(2)	50	42	4,55	5,38	(5,12)
La Rioja	12	—	57	(10)	69	87	11,08	12,08	(9,96)
Lugo	—	—	42	(5)	42	42	—	5,78	(5,09)
Madrid	1	1	155	(7)	157	156	1,25	2,32	(2,22)
Málaga	—	—	109	(14)	109	109	—	6,99	(6,09)
Murcia	—	0	73	(10)	73	73	—	5,00	(4,31)
Navarra	2	—	—	—	2	—	4,19	—	—
Orense	—	—	82	(8)	82	82	—	15,65	(14,69)
Castellón de la Plana	0	6	88	(9)	94	94	0,00	6,38	(5,77)
Valencia	—	—	36	(2)	36	36	—	9,22	(8,71)
Las Palmas	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ourense	0	—	65	(1)	65	65	0,00	7,55	(7,43)
Salamanca	—	—	29	(2)	29	29	—	5,38	(4,99)
Santa Cruz de Tenerife	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cantabria	—	0	31	(13)	31	31	—	3,21	(1,86)
Segovia	6	—	29	(1)	35	29	4,35	5,28	(7,99)
Sevilla	4	—	58	(3)	62	58	4,65	5,31	(5,03)
Soria	—	—	17	(0)	17	17	—	4,32	(4,32)
Tarragona	33	—	49	(4)	52	49	4,12	5,24	(4,51)
Teruel	—	—	24	(2)	24	24	—	6,01	(8,01)
Toledo	—	—	111	(11)	111	111	—	7,69	(6,93)
Valencia	6	6	125	(5)	141	135	3,46	6,08	(5,85)
Valladolid	—	—	62	(4)	62	62	—	7,39	(6,82)
Vizcaya	3	—	—	—	3	—	1,17	—	—
Zamora	—	—	38	(4)	38	38	—	6,43	(5,75)
Zaragoza	4	11	68	(8)	83	79	1,95	4,77	(4,41)
<b>Total</b>	<b>163</b>	<b>23</b>	<b>2.404</b>	<b>(218)</b>	<b>2.597</b>	<b>2.452</b>	<b>2,69</b>	<b>3,49</b>	<b>(5,03)</b>

Indices de peligrosidad por provincias 1987

IM	Accidentes con Vic. R.I.G.E.						Indices de Peligrosidad		
	Autopistas Peaje libre		Resto Estado	De ellos (Tra- ves.)	Total R.I.G.E.	R.I.G.E. sin autop. peaje	Aut. peaje	R.I.G.E. sin Aut. peaje	
Alava	36	—	—	—	36	—	23	—	—
Albacete	—	—	326	(23)	326	326	—	37	(34)
Alicante	61	—	514	(173)	575	514	24	43	(35)
Almería	—	—	543	(170)	543	543	—	73	(50)
Avila	4	—	180	(30)	184	180	11	51	(43)
Badajoz	—	—	313	(86)	314	314	—	41	(30)
Baleares	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Barcelona	286	148	1.189	(388)	1.833	1.337	17	61	(44)
Burgos	55	—	707	(213)	702	707	32	67	(47)
Cáceres	—	—	210	(12)	210	210	—	32	(30)
Cádiz	15	—	443	(59)	442	437	26	43	(37)
Castellón	138	—	399	(41)	537	399	37	65	(47)
Ciudad Real	—	—	365	(17)	365	365	—	48	(46)
Córdoba	—	—	325	(26)	325	325	—	48	(44)
La Coruña	39	—	606	(100)	645	606	30	63	(53)
Cuenca	—	—	409	(47)	409	409	—	53	(47)
Gerona	69	—	403	(110)	472	403	15	70	(31)
Granada	—	—	357	(26)	357	357	—	51	(47)
Guadalajara	—	—	231	—	231	231	—	46	(45)
Guipúzcoa	59	—	—	—	59	—	20	—	—
Huelva	—	—	236	(18)	326	226	—	47	(43)
Huesca	47	—	244	(43)	295	244	37	40	(53)
Jaén	—	—	475	(13)	475	475	—	67	(65)
León	22	—	469	(172)	491	469	39	51	(32)
Lérida	61	—	448	(77)	509	445	38	52	(48)
La Rioja	68	—	236	(32)	301	236	60	50	(42)
Lugo	—	—	357	(28)	357	357	—	49	(45)
Madrid	16	28	1.453	(53)	1.497	1.481	20	22	(21)
Málaga	—	—	896	(198)	896	898	—	55	(45)
Murcia	—	12	663	(211)	675	675	—	46	(32)
Navarra	22	—	—	—	22	—	46	—	—
Orense	—	—	360	(63)	360	360	—	70	(57)
Asturias	8	72	765	(145)	845	857	40	37	(47)
Palencia	—	—	211	(28)	811	211	—	54	(47)
Las Palmas	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pontevedra	9	—	315	(69)	524	515	10	60	(53)
Salamanca	—	—	432	(197)	432	432	—	80	(43)
Santa Cruz	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cantabria	—	10	609	(132)	619	619	—	64	(50)
Segovia	32	—	206	(34)	238	206	23	59	(49)
Sevilla	18	—	306	(103)	524	506	21	46	(37)
Soria	—	—	196	(33)	196	196	—	60	(41)
Tarragona	198	—	452	(63)	680	462	25	52	(45)
Teruel	—	—	312	(34)	312	312	—	53	(45)
Toledo	—	—	522	(58)	522	522	—	36	(32)
Valencia	63	62	589	(58)	994	931	26	42	(39)
Valladolid	—	—	295	(50)	298	298	—	35	(29)
Vizcaya	82	—	—	—	82	—	24	—	—
Zamora	—	—	289	(36)	289	289	—	49	(43)
Zaragoza	63	71	465	(83)	589	538	31	32	(29)
	1.447	382	20.083	3.531	21.894	20.447	24	45	(38)

# ZONAS GEOGRAFICAS - ACCIDENTES



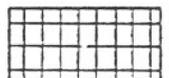
A



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.<sup>o</sup> de Economía y Hacienda, pero ante la ausencia del mismo, el valor a adoptar en proyectos de carreteras es del 6%.

TASA DE ACTUALIZACION = 0,06 (6%)
--------------------------------------

(1) Este año no tiene porqué coincidir con el año de puesta en servicio. Solamente habrá que indicar a qué 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.

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 y 2).
2. Es la tasa adoptada en el resto de manuales del sector transportes en España (puertos, aviones, ferrocarriles).

##### 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.

PRI = PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION.

###### 4.2.1.1. VAN. VALOR ACTUALIZADO NETO

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

$$VAN = BAN - CAN = \sum_1^n \frac{b_i}{(1+r)^{i-1}} - \sum_{-10}^n \frac{C_i}{(1+r)^{i-1}}$$

(1) Cotización del 12 a 22 de enero de 1988. Las obligaciones con fecha de emisión 30-7-86 e interés nominal 10,66% se cotizaban a la par. 10,65% - 4,6% = 6,05%. Dicho análisis se ha mostrado válido 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 sitúa 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.

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<sub>i</sub> = beneficios en el año i de la alternativa (tercer párrafo del punto).

C<sub>i</sub> = costes en el año i de la alternativa (segundo párrafo del punto 4).

t<sub>0</sub> = año en que comienza la inversión (primera anualidad) y que dura hasta el año cero, fecha de terminación de la obra.

El VAN se expresa en millones de pesetas 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.

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

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

#### 4.2.1.3. PRI. PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION

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

$$PRI = j \text{ que } \sum_1^j \frac{b_i}{(1+r)^{i-1}} = \sum_{-t_0}^j \frac{C_i}{(1+r)^{i-1}}$$

#### 4.2.2. Indicadores independientes de la Tasa de Actualización

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

(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.

#### 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).

$$TIR = r \text{ que } \sum_1^{30} \frac{b_i}{(1+r)^{i-1}} = \sum_{-t_0}^{30} \frac{C_i}{(1+r)^{i-1}}$$

#### 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 y 3).

En cualquier caso los criterios de rentabilidad económica permite desechar aqué-

(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.

los 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, socioeconómicas, 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 cada alternativa en un cuadro con el conjunto de características e impactos más relevantes.

## APENDICE I. CRECIMIENTO Y PREDICCIÓN 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 1988 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 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 tráfico 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.

Tabla I. Intensidad media diaria de tráfico por corredores

	AÑO										
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
<i>Corredor de Levante</i> (Figura 1) Madrid-Levante Crecimiento anual (%)	8.712	9.909 13,7	10.122 2,2	10.954 8,2	11.163 1,9	11.133 -0,3	11.863 6,6	11.721 -1,2	10.830 -7,6	10.777 -0,5	12.048 11,8
<i>Corredor del Norte</i> (Figura 2) Madrid-País Vasco y Cantabria Crecimiento anual (%)	7.216	7.862 8,9	8.224 4,6	8.337 1,4	8.031 -3,7	8.496 5,8	8.812 3,7	8.514 -3,4	8.595 1,0	8.772 2,1	8.847 0,8
<i>Corredor de Extremadura</i> (Figura 3) Madrid-Extremadura Crecimiento anual (%)	6.355	6.874 8,2	7.258 5,6	7.650 5,8	7.861 2,4	8.709 10,8	8.836 1,5	8.670 -1,9	8.138 -6,1	8.558 5,2	8.652 1,1
<i>Corredor de Aragón</i> (Figura 4) Madrid-Cataluña Crecimiento anual (%)	17.170	17.852 4,0	19.840 11,1	20.820 4,9	21.598 3,7	21.197 -1,9	21.394 0,9	21.587 0,9	21.513 -0,3	21.167 -1,6	22.003 3,9
<i>Corredor de Andalucía</i> (Figura 5) Madrid-Andalucía Crecimiento anual (%)	5.777	6.079 5,2	6.457 6,2	6.698 3,7	6.675 -0,3	7.092 6,3	7.196 1,5	6.948 -3,5	6.921 -0,3	7.180 3,6	7.510 4,6
<i>Corredor del Noroeste</i> (Figura 6) Madrid-Galicia y Asturias-Irún- Fuentes de Oñoro Crecimiento anual (%)	6.949	7.544	7.792 3,3	8.079 3,7	7.969 -1,4	8.038 0,9	8.385 4,3	8.291 -1,1	8.467 2,1	8.791 3,8	8.963 2,0

Tabla I bis. Intensidad media diaria de tráfico por corredores (Cont.)

	AÑO										
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
<i>Corredor del Mediterráneo (sur)</i> (Figura 7) Andalucía-Levante Crecimiento anual (%)	6.253	6.847 9,3	7.204 7,8	7.768 0,7	7.822 2,5	8.046 2,5	8.459 5,5	8.618 -1,9	7.996 -7,2	8.616 7,7	8.837 2,6
<i>Corredor del Mediterráneo (norte)</i> (Figura 8) La Junquera y Por-Bou-Murcia Crecimiento anual (%)	20.786	21.333 2,6	22.826 7,0	24.256 6,3	24.739 2,0	24.662 -0,3	25.638 4,0	25.562 0,3	24.666 -3,5	25.161 2,0	27.270 8,4
<i>Corredor del Cantábrico</i> (Figura 9) Galicia Y Cornisa Cantábrica Crecimiento anual (%)	4.320	4.603 6,6	4.929 7,1	4.995 1,3	5.008 0,3	5.186 3,6	5.235 0,9	5.374 2,7	5.404 0,6	5.504 1,8	5.782 5,1
<i>Corredor de La Plata</i> (Figura 10) Crecimiento anual (%)	5.050	5.377 6,5	5.641 4,9	6.007 6,5	5.171 -0,6	5.941 -0,5	5.991 0,9	6.018 0,5	6.008 -0,2	6.131 2,0	6.536 6,6
TOTAL RIGE (1) Crecimiento anual (%)	6.611	7.176 8,6	7.615 6,1	7.970 4,7	7.990 0,3	8.173 2,3	8.396 2,7	8.369 -0,3	8.262 -1,3	8.401 1,4	8.847 5,3

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

## 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 más 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	$\Delta$ 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 tráficos en el período 1988-1995 y los intervalos de confianza del 95%, obteniéndose la banda siguiente:

(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  $\pm 11\%$ .

(3) Este valor corresponde al crecimiento tendencial en el período 1976-1987.

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

PERIODO: 1996 EN ADELANTE  
CRECIMIENTO ANUAL ACUMULATIVO  
DEL TRAFICO: 2,3% (3)

En la figura I-1 se ha representado la serie histórica, la predicción efectuada y los intervalos de confianza.

Se ha efectuado igualmente otra predicción con una hipótesis menos favorable del crecimiento del PIB ( $\Delta 1988 = 3,7\%$ ,  $\Delta 1989 = 3,5\%$ ,  $\Delta 1990 = 3,30\%$ ,  $\Delta 1991 = 3\%$ ,  $\Delta 1992 = 2,9\%$ ,  $\Delta 1993 = 2,8\%$ ,  $\Delta 1994 = 2,7\%$ ,  $\Delta 1995 = 2,6\%$ ), 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%, hasta 1995 y del 2,3% a partir de ese año, 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 crecimientos anuales han sido 86-85, 5,3% y 87-86 (valor estimado a partir de las estaciones permanentes) 5,65%.

PREDICCIÓN DE TRAFICO CON UN INTERVALO DE CONFIANZA DEL 95 %  
RELACION IMD - PIB (Pesetas constantes de 1.980)

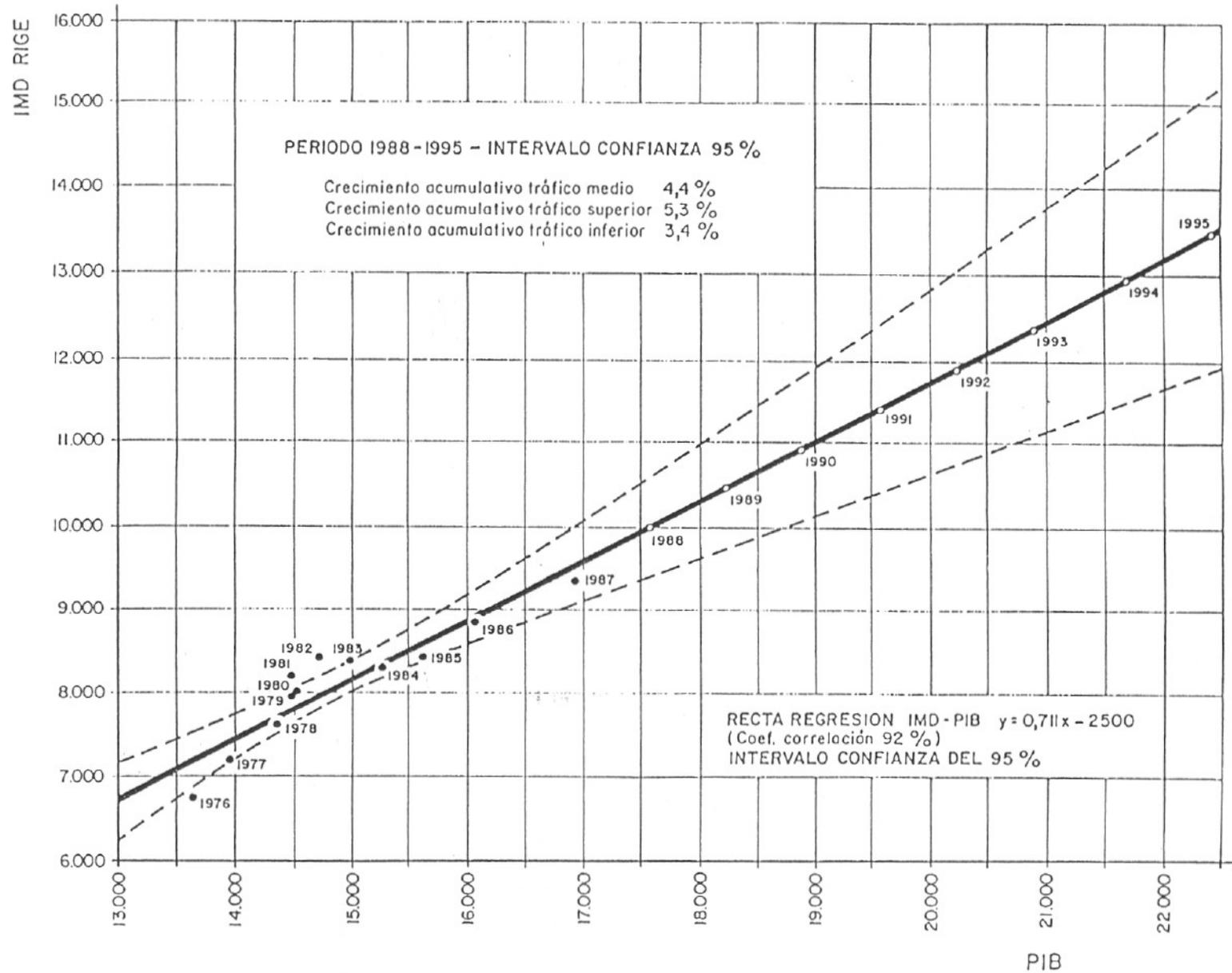


Figura I-1