

ESTUDIOS DE RENTABILIDAD EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS (*)

Por JAIME LLEO DE LA VIÑA
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

1. INTRODUCCION

Una de las consecuencias de haber asistido al I Seminario de Construcción de Carreteras es la de redactar una memoria sobre uno o varios temas de los en él desarrollados, o bien, como trabajo de síntesis parcial o general de los estudios realizados. A la hora de elegir tema, se me ha presentado este de "Estudios de rentabilidad en la construcción de carreteras" con la máxima insistencia; es decir, un asunto que solo tiene una relación indirecta con los temas tratados en el Seminario. Sin embargo, la tentación de abordar este tema ha sido superior al inconveniente antes expuesto, y por ello, con la alegre inconsciencia de la ignorancia, me he decidido a atacarlo, aún sabiendo las dificultades que presenta un asunto de tanta amplitud.

Por ello, mi único propósito es exponer en forma clara y abreviada lo que he encontrado disperso en libros y revistas. Si lo logro, aunque no haya aportado nada original, me daré por satisfecho. Pido, pues, perdón por mi atrevimiento y ya es momento de entrar, sin más preámbulo, en materia.

2. NECESIDAD DE LOS ESTUDIOS DE RENTABILIDAD EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS

Los estudios económicos tienen dos finalidades diferentes. Por una parte, han de servir para facilitar la elección, a la vista de los créditos disponibles, de aquellos proyectos que sean de mayor rentabilidad; es decir, permite estudiar si la mejora propuesta representa una inversión remuneradora al compararla con otros usos posibles del dinero. En segundo lugar, el análisis económico representa un método de elección de la solución más beneficiosa entre los posibles de un proyecto determinado.

Existe todavía en España una tendencia a considerar como solución más rentable la de mínimo coste de construcción. Esta forma de pensar estaba plenamente justificada por la poca importancia del tráfico automóvil; los beneficios producidos por este tráfico eran muy inferiores a los costes de una mala red de carreteras. Por ello, el criterio del coste mínimo de construcción era perfectamente admisible. Pero esta actitud ante los problemas económicos que plantea la construcción de carreteras no es compatible con la que nos impone el ritmo de los tiempos actuales, y este ritmo lo impone la circulación automóvil. Es de todos conocidos el proceso de la industria del automóvil que ha pasado, en menos de cincuenta años, del período artesanal a la fabricación en serie; es decir, del taller en que reinaba la atmósfera del inventor, del artista que busca apasionadamente, a la fabricación colectiva en que el utillaje sucedía al ingenio de la mano de obra. El automóvil ha pasado de tener un carácter fundamentalmente deportivo a ser considerado utilitario, inse-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de octubre de 1971.

parable de la profesión y, al mismo tiempo, sin perder su carácter deportivo, tiende a servir fines turísticos, para ayudar a esa necesidad de evasión tan acusada en nuestros tiempos, especialmente en las grandes ciudades. La carretera, por tanto, ha tenido que seguir esa misma evolución vertiginosa de la industria del automóvil. El tráfico automóvil tiene sus exigencias propias y es a esas exigencias a las que hay que dar satisfacción. Insistimos, por ello, en lo antes dicho: ya no es válido el criterio de coste mínimo de construcción, puesto que, considerada la carretera como un servicio al tráfico —y siendo este un fenómeno económico, social y, por tanto, humano— es el conjunto de este servicio lo que ha de producir la máxima rentabilidad. Queda así justificada la necesidad de los estudios de rentabilidad en la construcción de carreteras.

Finalmente, por referirse a nuestro país, creemos interesante consignar algunos de los datos aportados por don José Luis Escario en su memoria presentada en el XI Congreso de Carreteras celebrado en Río de Janeiro, que lleva por título "Los aspectos económicos del problema de las inversiones de capital en la construcción de carreteras". Son los siguientes:

Número de vehículos en 1955	}	Coches particulares	102371
		Taxis y autobuses	34882
		Camiones	94985
		<i>Total</i>	232238

Esta cifra da una proporción de ocho vehículos por 1.000 habitantes. En los países de aproximadamente la misma renta nacional por individuo, esta proporción varía de 12 a 50. En el año 1972 se espera llegar, gracias a la producción nacional, a 1.045.000 vehículos, o sea, cuatro veces el parque del año 1955, resultando, por tanto, 33,6 vehículos por 1.000 habitantes. Esta cifra es comparable a la alcanzada por otros países.

Creemos que estas cifras son suficientemente elocuentes y nos permiten juzgar la importancia del tráfico automóvil en su futuro que está ya muy próximo (1).

3. ELEMENTOS A CONSIDERAR EN LOS ESTUDIOS DE RENTABILIDAD.

Primeramente, para que no haya lugar a interpretaciones ambiguas, es conveniente destacar que consideramos que todos los gastos se pagan por el usuario; es decir, tratamos de hallar el balance económico del tráfico por carretera, siendo este tráfico el que ha de atender, tanto a la construcción y conservación del camino como a los gastos de explotación de la circulación automóvil; es decir, a la compra de carburantes, reparaciones de los vehículos, etc. Sentadas así las bases previas, hemos encontrado los elementos básicos que hay que tener en cuenta: coste de construcción y conservación del camino y coste de explotación del tráfico automóvil. La palabra coste tiene, en este caso, el sentido de inversión anual; o sea, los gastos que hay que efectuar anualmente para amortizar y conservar el camino y los desembolsos necesarios para mantener el transporte por dicho camino. Es evidente que unos gastos influyen en otros, ya que el tráfico actúa sobre el camino y viceversa; en una palabra, tráfico y camino constituyen una unidad y podemos decir que

(1) Para más detalles, ver la publicación núm. 7 del Laboratorio del Transporte: "El problema económico de la modernización de las carreteras", por D. José Luis Escario.

el uno sin el otro difícilmente se conciben. Finalmente, insistimos en que la expresión "construcción de carreteras" tiene para nosotros, además del sentido estricto, el significado de cualquier mejora que se haga en una carretera existente.

En los apartados siguientes iremos analizando cada uno de estos costes.

3.1. *Costes de explotación del tráfico.*

Existen dos grupos fundamentales de costes de explotación de un vehículo de motor: los proporcionales al número de kilómetros recorridos y los que se producen independientemente del rodaje. Dentro del primer grupo tenemos los consumos de carburantes, lubricantes y neumáticos, los de conservación y reparaciones y, finalmente, la parte de amortización que se puede imputar al desgaste. En el segundo grupo, costes fijos, figuran la patente, garage, seguros y la parte de amortización que se atribuye a haberse pasado de moda el vehículo. Finalmente, hay un tercer grupo que depende de la velocidad: la ganancia de tiempo del usuario y su confort.

Aparte de lo anterior, solamente en casos especiales de eliminación de puntos negros —curvas peligrosas, tramos largos sin visibilidad—, habrá de estudiarse el coste de los accidentes.

Los costes proporcionales al recorrido y a la velocidad son los más afectados por las mejoras de la red de carreteras. Por ello, son los que más interesan en los estudios económicos.

En los siguientes apartados se estudian estos costes.

3.1.1. *Consumo de carburantes, lubricantes y neumáticos.*

Resulta bastante difícil poder determinar con cierta exactitud el consumo de carburante por kilómetro recorrido. El número de factores que influyen en este consumo es muy grande: velocidad media del vehículo, pendientes o rampas del trazado, curvas y peraltes, destreza del conductor, ajuste del motor, etc.

No existe más métodos para determinar este consumo que los puramente estadísticos y, cuando no se dispone de datos estadísticos, no hay más solución que crearlos de una forma sistemática; es decir, recurrir a métodos directos, o sea a recorridos experimentales.

Para mayor facilidad de manejo y hacer más clara la exposición se incluyen en un anejo una serie de datos entresacados de las diversas publicaciones que se indican.

Merecen mención especial los métodos directos, ya que ellos permiten determinar el consumo, la velocidad instantánea, las paradas y el tiempo de duración de las mismas a lo largo de un itinerario existente. Tienen el inconveniente de no servir más que para carreteras construidas. Sin embargo, pueden servir para obtener estadísticas de consumos a base de multiplicar los recorridos experimentales en itinerarios diversos. A continuación describimos las líneas generales de este sistema:

Consiste en equipar los vehículos de prueba —estos vehículos deben ser los más representativos del conjunto del tráfico—, con determinados aparatos de me-

dida. En Alemania (1), para un estudio económico, utilizaron los siguientes aparatos de medida:

Un disco tacógrafo.

Un cronógrafo.

Un cilindro medidor de consumo de carburante.

El disco tacógrafo y el cronógrafo —aparatos conocidos y que no necesitan ninguna explicación—, permiten conocer el reparto de la velocidad a lo largo de la marcha, y la duración de esta, tanto en recorridos parciales como en el total. A pesar de suponer conocido el tacógrafo, incluimos un esquema del mismo en el anejo. Creemos innecesario destacar la gran utilidad del cronógrafo y del tacógrafo al estudiar itinerarios urbanos.

El cilindro medidor consiste en una probeta grande con graduación dependiente de su capacidad que se conecta por un lado a la bomba de carburante y, por otra, a un depósito de capacidad conocida.

En el estudio alemán antes citado se utiliza también el procedimiento analítico del profesor Müller. Este sistema se basa en el equilibrio entre las fuerzas de tracción y las resistencias que se oponen al movimiento para el intervalo de velocidades de una determinada posición de la palanca de cambios de marcha del vehículo. Estas velocidades se obtienen imponiendo la condición de que el motor suministre la máxima potencia. Mediante diversas fórmulas y conociendo las líneas características del motor, se llega a determinar por este método el carburante y el tiempo necesarios para recorrer un determinado tramo de carretera. Este procedimiento es especialmente adecuado para el estudio de itinerarios largos (2).

En Hungría (3) han utilizado el sistema de hacer lecturas al vuelo en coches de turismo y camiones. Estas medidas de consumo que efectuaban en carreteras rectas y prácticamente horizontales las han repetido en diversas épocas del año. Para aumentar la precisión de las medidas han construido aparatos que miden automáticamente el consumo, la velocidad y el tiempo, controlados todos ellos por una célula fotoeléctrica. En tramos experimentales han realizado 12.000 medidas de consumo para distintas velocidades.

Poco se puede decir respecto al *consumo de lubricantes*, ya que es muy difícil poder tener en cuenta la influencia del trazado en este gasto. La experiencia hasta ahora acumulada demuestra que el consumo de aceite crece con la velocidad y que tiene una gran influencia el estado del firme.

El consumo de neumáticos está influido por el estado del pavimento, pendiente, velocidad, curvas. La influencia de estas variables es muy grande; como ejemplo, citaremos que, para un mismo pavimento, los neumáticos a una velocidad de 90 kilómetros hora duran la tercera parte que si la marcha es a 50 Km hora. No existe prácticamente experiencia sobre la influencia de las otras variables —pendiente, pavimento, curvas— en el desgaste del neumático. Por ello es muy interesante la

(1) Datos tomados del estudio "Verkehrswirtschaftliche Untersuchung der Bundesstrasse 49 zwischen und Wezlar".

(2) En el anejo adjuntamos una traducción del artículo del Dr. Miller, titulado "Rechnerisches Verfahren zur Ermittlung, des Treibstoffverbrauchs und der Fahrkosten schwerer Lastkraftwagen" (Strassen und Tiefbau, núm. 11, 1955).

(3) Rapport presentado por este país al XI Congreso de Carreteras de Río de Janeiro, titulado "Aspect économique des projects routiers".

tendencia húngara (1) consistente en sustituir el método clásico e inexacto de la diferencia de pesadas por el empleo de radio-isótopos. La cantidad de partículas arrancadas al neumático y que permanecen en la carretera se puede medir mediante un contador Geiger-Müller.

Una vez determinados, para un vehículo aislado, los consumos de carburantes, lubricantes y neumáticos de acuerdo con las características del tramo de carretera existente o en proyecto y la velocidad media del vehículo —la velocidad media no debe confundirse con la específica del itinerario—, habrá que tener en cuenta el aumento de consumos debido a otros factores como son las paradas, la congestión del tráfico, la influencia de los camiones en las pendientes, etc. No se pueden dar normas fijas en este sentido; por otra parte, los aumentos de costes producidos por las paradas y el beneficio de las ganancias de tiempo se estudian en otros apartados. En Estados Unidos clasifican el movimiento de los vehículos por la relación entre el tráfico de la hora treinta y la capacidad de la carretera (2). Si esta relación es superior a 1,25 definen el movimiento como restringido, si está comprendida entre 1,25 y 0,75 lo designan como normal y si es inferior a 0,75 como libre. Esta clasificación es interesante cuando se utilizan costes por kilómetro, proporcionados por datos estadísticos. Sin embargo, si se ha procedido mediante medidas experimentales habrá que tener previamente en cuenta el grado de saturación a fijar en cada tramo del itinerario en proyecto para asignar al vehículo de prueba una velocidad media acorde con la mayor o menor congestión del tráfico.

No podemos terminar este apartado sin exponer el concepto de longitud virtual que es el siguiente (3):

“La longitud virtual es la longitud de una carretera ideal desarrollada en un plano horizontal, rectilínea, unidireccional, con revestimiento perfecto, sin pasos a nivel, ni cruces, ni travesías de poblaciones y que exigiese para recorrerla el mismo tiempo y los mismos gastos que la carretera cuyos costes de explotación se quieren determinar.”

Esta definición es necesario complementarla con distintas tablas que nos den la virtualidad o el coeficiente amplificador de cada uno de los accidentes del trazado; es decir, datos estadísticos que nos permitan referir los consumos de todo tipo —fundamentalmente de carburantes y de tiempo—, de una rampa, curva, etc. a los de la carretera ideal antes definida. En el Anejo se indican los coeficientes amplificadores para distintas rampas y pendientes de diversos vehículos italianos. También se pueden determinar las longitudes virtuales por medio de las fórmulas que relacionan los esfuerzos de tracción con los resistentes (4).

3.1.2. *Reparación y conservación de los vehículos.*

No se disponen de datos fehacientes que nos permitan dar cifras medias de estos costes. Por otra parte, no creemos que este sumando de coste tenga gran impor-

(1) Rapport citado.

(2) Highway Engineering de Hewes y Oglesby (John Wiley, New York).

(3) Rapport del Prof. Dott. Ing. Vittorio Zignoli presentado en el XI Congreso de Carreteras de Río de Janeiro.

(4) “Longitudes virtuales de carretera”, por D. Luis Caballero de Rodas. Revista de Obras Públicas, abril de 1958.

tancia dentro del campo de aplicación normal de los estudios de rentabilidad. En efecto, las obras a acometer en España son de los siguientes tipos:

1. Transformación y refuerzo de firmes.
2. Mejoras de trazado y ampliación de la sección transversal.
3. Supresión de travesías.

En las obras del tipo 1 el ahorro en los gastos de reparación y conservación de los vehículos puede tener una gran importancia. Sin embargo, sus proyectos no requerirán, en general, estudios económicos, ya que la necesidad de transformar nuestras maltrechas carreteras de macadán es una necesidad evidente. Por otra parte, como estos proyectos de mejora de firmes tienen prácticamente solución única, no hará falta el estudio económico que se necesita cuando puede haber varias soluciones.

Por el contrario, en muchos proyectos de los tipos 2 y 3 será necesario el estudio económico. Este análisis servirá, en general, solamente para la elección de la solución más rentable de un proyecto determinado, ya que la prioridad de ejecución entre proyectos distintos la definirá el tráfico. En este caso, se podrá prescindir de los gastos de reparación, puesto que el beneficio económico, en la mayor parte de estos casos, lo dará el ahorro de consumos (carburantes, lubricantes y neumáticos), la ganancia de tiempo y la reducción de accidentes, ya que, salvo grandes economías de longitud, los costes de conservación y reparación de los vehículos serán prácticamente constantes para todas las soluciones.

Es evidente que la afirmación anterior no tiene carácter general y será necesario estudiar su validez en cada caso particular.

A título de orientación damos las cifras adoptadas en Estados Unidos (1):

Pavimento en buenas condiciones: 0,8 centavos/vehículo/milla (0,30 pesetas/vehículo/Km).

Superficie suelta (piedra sin recebo): 1,2 centavos/vehículo/milla (0,45 pesetas/vehículo/Km).

(Nota: Se ha supuesto para el dólar una cotización de 60 pesetas.)

3.1.3. *Amortización de los vehiculos.*

La partida anual necesaria para cubrir los gastos de amortización de un vehículo puede ser muy variable, por depender de varios factores: coste de adquisición, vida económica, número de kilómetros recorridos en el año, aparición de nuevos modelos que hagan antiguo o inadecuado el tipo existente. Por estos motivos, la amortización tiene una parte proporcional a los kilómetros recorridos, o sea, la correspondiente al desgaste, y otra parte, debida al desuso, proporcional al tiempo. El reparto de los gastos de amortización entre ambos conceptos es totalmente arbitrario. En España se puede prescindir sin grave error del sumando correspondiente al desuso y prorratear los gastos anuales de amortización entre el número de kilómetros recorridos al año, o bien dividir el coste inicial de adquisición por el total de

(1) Engineering Handbook de Hewea y Oglesby (John Wiley. New York).

kilómetros que se supone puede recorrer un vehículo durante su vida económica. Es preciso, desde el punto de vista del usuario, incluir en el coste de adquisición los impuestos que gravan la compra.

Podemos estimar, como media para vehículos de turismo, que su vida económica es de diez años, a base de un recorrido anual de 15000 Km. Los vehículos comerciales —camiones de líneas de transporte— pueden efectuar recorridos anuales de 100000 a 150000 Km.

3.1.4. *Economía de tiempo.*

Es evidente que la ganancia de tiempo producida por las mejoras de una carretera es de las ventajas a las que es más sensible el usuario. Sería un grave error no tener en cuenta en los estudios económicos este elemento, y, por ello, es opinión unánime la de incluir estos costes; sin embargo, resulta muy difícil cifrar en términos monetarios la ganancia de tiempo.

Las ganancias de tiempo pueden dar el siguiente resultado: incremento de producción, aumento del tiempo libre disponible y, finalmente, economías de tiempo que no reportan ninguna ventaja.

La situación de incremento de la producción es la única ventaja evaluable desde el punto de vista económico. En realidad, este resultado solamente se producirá para aquellas personas que tienen horas fijas de trabajo, en la medida en que el tiempo ganado está comprendido en el horario de trabajo, y hay que tener en cuenta que no todo el tiempo ganado se empleará en la producción.

Las economías que simplemente producen tiempo libre afectarán a las personas en activo que están fuera de sus horas de trabajo o a las inactivas (jubilados, niños, etc.). Aunque el aumentar el tiempo libre sea una ventaja desde muchos aspectos, es evidente que la subjetividad de esta situación hace imposible el cifrar este tiempo en términos monetarios.

Por último, cuando se conduce un vehículo por pura distracción se ha obtenido una ganancia de tiempo sin ninguna utilidad. Esta situación no hay que tenerla en cuenta en el estudio económico.

Naturalmente, las situaciones anteriores sólo pueden ser conocidas mediante una encuesta directa.

Finalmente, solamente a título de orientación, indicamos las siguientes cifras medias del coste del vehículo-hora, exclusivamente en lo que a la valoración del tiempo por parte del usuario se refiere:

Turismos, suponiendo una ocupación de 1,5 personas por vehículo: 50 a 60 pesetas/hora.

Camiones de 5 Tm de carga: 90 a 100 pesetas/hora.

Camiones con semirremolque de 12 Tm de carga: 125 a 150 pesetas/hora.

Las cifras relativas a camiones pueden ser conocidas con cierta exactitud, ya que la ganancia de tiempo en estos vehículos significa un ahorro cifrable en términos monetarios. Para coches particulares la valoración del tiempo es mucho más subjetiva, ya que no existe una medida de las ventajas producidas por el ahorro de tiempo.

3.1.5. *Influencia de las paradas.*

Es evidente que las paradas y arranques tienen una gran influencia en los consumos de todo tipo de un vehículo; es decir, en el carburante, lubricante y neumáticos consumidos, en el incremento de costes de las reparaciones y en la pérdida de tiempo que suponen las paradas. Hay que tener también en cuenta los costes adicionales que se producen en las esperas; por ejemplo, en un cruce, al esperar el cambio de luz del semáforo.

3.2. *Costes de explotación en zonas urbanas.*

Actualmente no se dispone de datos suficientes para poder estimar estos costes de explotación en zonas urbanas. Por ello, en un informe de A.A.S.H.O. (1) se recomienda utilizar los costes de zonas no urbanas, modificadas donde sea necesario. Para vías de penetración y circunvalación, en las que la marcha sea relativamente uniforme y continua, se pueden aplicar directamente los costes de zonas no urbanas. Si la interrupción es moderada se pueden aumentar estos costes en un 10 a un 30 por 100. Finalmente, cuando las paradas sean frecuentes será necesario proceder a una investigación especial y directa.

(1) A Committee Report on Road User Benefit Analysis.

(Continuará)