

COSTE DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA CIRCULACION AUTOMOVIL

Por MIGUEL MARTINEZ CATENA
Ingeniero de Caminos.

En el presente artículo, el autor expone un razonado método para repartir los costes de la infraestructura de la circulación automóvil entre los vehículos de las diversas categorías, problema éste de gran importancia por su íntima conexión con el general de los transportes y su coordinación.

El grave problema planteado actualmente en los países del mundo entero por la destrucción de los firmes de las carreteras, motivada por el incesante desarrollo del tráfico automóvil, ha conducido a la necesidad de determinar si los vehículos pesados pagan o no los desgastes que ellos ocasionan.

Con este fin se han realizado numerosos estudios para determinar la repartición del coste de la infraestructura de la circulación automóvil entre los vehículos de las diversas categorías, mereciendo destacarse entre dichos estudios el informe elaborado por un grupo de técnicos para el Comité de Transportes Interiores de la Comisión Económica para Europa.

Este informe está encaminado a determinar la naturaleza e importancia de los gastos de carreteras motivados por la circulación de una cierta clase de vehículos automóviles, así como a repartir, entre los de las diversas categorías, los restantes gastos que son imputables al conjunto del tráfico automóvil y que varían de una manera sensible al aumentar el mismo; no pretendiendo distribuir los gastos generales que permanecen prácticamente inalterables, aun en el caso de una gran variación del volumen de la circulación. Para terminar, el repetido informe trata de comparar los gastos ocasionados por ejes de 8 y de 10 Tm. de carga, con el fin, indudablemente, de contribuir a resolver la cuestión planteada internacionalmente sobre la posibilidad que se está estudiando de elevar de 8 a 10 Tm. la carga máxima admitida por eje en la circulación automóvil.

Con el fin de facilitar la exposición, se consideran como "vehículos pesados" los que tengan un peso total de más de 5 Tm. en el eje más cargado, y aunque esta cifra varía mucho, a igualdad de capacidad, según el tipo de chasis y de carrocería, se puede aceptar con bastante aproximación que los vehículos pesados así definidos son los camiones cuya carga máxima sea de 5 Tm. como mínimo y los autobuses con una capacidad de más de 30 asientos.

En la denominación de "vehículos ligeros" se engloban no solamente los turismos, sino también los comerciales, en los que el peso en el eje más cargado no exceda de 1 500 Kg.

Los vehículos automóviles con peso en el eje más cargado, comprendido entre 1 500 y 5 000 Kg., se denominan "otros vehículos comerciales".

Se puede observar que, como norma general, los vehículos comerciales que no estén dentro del concepto antes indicado de "pesados", no se utilizan para transportes a gran distancia.

Puesto que el principal interés de los estudios de repartición de los gastos de infraestructura estriba en determinar si los vehículos pesados pagan o no los desgastes que ocasionan, y como los impuestos percibidos de éstos son valores medios, es normal calcular también el término medio de los gastos ocasionados de infraestructura. Un cálculo a escala nacional es tanto más lógico cuanto que en Europa, salvo en casos particulares, los camiones pesados no están afectos a un trayecto determinado, y aunque tal sistema de cálculo y de imposición equivalga a una perecuación entre itinerarios.

1. Gastos de mejora o ampliación de la red de carreteras.

Es preciso considerar aparte el caso de los pequeños caminos rurales o forestales y de las calles nuevas sirviendo a inmuebles nuevos. La construcción o mejora de estas vías tiene por objeto principal servir a las propiedades y viviendas ribereñas.

En ellas, la circulación de paso es inexistente, y sólo una parte de los gastos es imputable a la automóvil. El resto, o no se puede atribuir al tráfico automóvil o constituye sus gastos generales.

Existe otra clase de gastos que hay que estudiar, especialmente cuando su importancia justifica una evaluación separada; tal es el caso de la creación de zonas de estacionamiento. A veces estas zonas están afectas a una categoría especial de vehículos y entonces es fácil la imputación de los costos; en los casos restantes, los gastos son, en su mayor parte, atribuibles a los vehículos ligeros, al menos en las zonas urbanas.

Todos los demás gastos de mejoras o de extensión

de la red de carreteras están ocasionados únicamente por el aumento de la circulación automóvil y son, por tanto, gastos directos y no generales de ella; vamos a determinar el grado de responsabilidad en los mismos de las diversas categorías de vehículos.

1. A) Suplementos de gastos directa y exclusivamente imputables a ciertas categorías de vehículos.

1.º INFLUENCIA DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS.

a) *Puentes.*— La diferencia de coste entre una obra capaz de soportar vehículos de 30 ó 40 Tm. y otra en que la circulación estuviese limitada a vehículos de 8 a 10 Tm., no es importante más que para determinados tipos de ellas. Además, aun cuando normalmente no circularsen vehículos pesados, sería indispensable, por razones diversas, construir los puentes en los itinerarios principales con resistencia suficiente para permitir el paso excepcional de aquéllos; las economías no se obtendrían más que con la posibilidad de admitir un menor coeficiente de seguridad y de reducir el tren de sobrecargas a un vehículo pesado aislado. Sin embargo, es preciso considerar aparte los casos de las obras que se reconstruyen por tener una resistencia o una anchura insuficientes para la circulación de vehículos pesados; en ellos, los costes correspondientes se deberán, evidentemente, imputar, en su totalidad, a dichos vehículos. En conjunto, el orden de magnitud de la economía en los gastos de construcción de puentes que se podría hacer en ausencia de vehículos pesados, está comprendida, en la mayoría de los casos, entre el 5 y el 10 por 100.

b) *Movimiento de tierras.*— A primera vista se podría pensar que los gastos de movimiento de tierras son comunes a todas las circulaciones; pero la realidad es otra, pues en terrenos accidentados una cierta parte de aquellos gastos debe ser atribuida exclusivamente a los vehículos pesados, y otra, a los ligeros. En efecto, la potencia limitada de los motores de los vehículos pesados obliga a suavizar las rampas y pendientes, y el suplemento correspondiente de gastos de movimiento de tierras, es entonces imputable exclusivamente a dichos vehículos. Por el contrario, las exigencias de visibilidad de los vehículos rápidos originan también suplementos de gastos de movimiento de tierras que, como es lógico, deben atribuirse a esta clase de vehículos.

En general, el aumento de gastos necesitado por los vehículos pesados parece que es más importante que el preciso para los rápidos. En Francia se cifran en un 30 por 100 los suplementos de gastos debidos a la presencia de camiones pesados; este porcentaje parece ser el máximo que se puede aceptar.

c) *Calzadas.*— El peso y el número de ejes tienen una gran influencia sobre el procedimiento constructivo y el espesor de las calzadas y, por consecuencia,

sobre su coste. Para evaluar la diferencia de costos, es preciso tener en cuenta no solamente los aumentos necesarios de espesores, sino también, y principalmente para las calzadas de hormigón hidráulico, el coste de las mejoras del terreno sobre el que se apoya la calzada y de la calidad de los materiales empleados, así como el de las prescripciones impuestas por una ejecución más cuidada.

Según un estudio hecho en Francia, las economías que se podrían realizar en ausencia de los vehículos pesados serían del 50 por 100, para la capa de ciementos; 20 por 100, para la base de la calzada; 30 por 100, para la capa de rodadura, y 35 por 100, como media. Y un estudio americano sobre repartición de gastos de carreteras del Estado de Minnesota, da la cifra del 22 por 100. La diferencia de estos dos porcentajes no debe sorprender: de una parte, porque el estudio de Minnesota es ya antiguo y en él no se ha estimado en su justo valor la influencia de los ejes pesados; de otra parte, porque el porcentaje del 35 por 100 se refiere a los gastos imputables a ejes de más de 5 Tm., correspondiendo el 22 por 100 a los ejes de más de 6,3 Tm.; y, por último, porque el límite superior del peso por eje es de 13 Tm. en el estudio de Francia y sólo de 8,2 Tm. en el de Minnesota. En 1959, otro estudio sueco había llegado a la conclusión de que el 56 por 100 de los gastos de infraestructura eran imputables a los vehículos de más de 2 Tm. de carga útil.

En resumen, parece que los suplementos de gastos para las calzadas exigidos por los ejes de más de 5 Tm. oscilan entre el 22 y el 35 por 100, según las condiciones del suelo, el relieve y el peso máximo autorizado por eje; estos porcentajes pueden también variar según la composición del tráfico, porque las características de los trazados y de la calzada adoptadas para las nuevas carreteras, dependen, en un cierto grado, de la importancia respectiva de la circulación de vehículos pesados y rápidos.

d) *Conclusiones para una carretera nueva o una desviación.*— El estudio efectuado por el Gobierno francés, del que anteriormente se ha hecho mención, establece la siguiente descomposición media del coste de los trabajos:

Expropiaciones	15 %
Movimiento de tierras	20 %
Obras de fábrica	25 %
Calzadas	40 %

Si se admite esta descomposición, se llega como conclusión a cifrar entre uno 10,5 y un 22,5 por 100 los suplementos de gastos que se originan por la presencia de ejes pesados en las nuevas carreteras y las desviaciones.

e) *Conclusiones para los ensanches o correcciones locales de carreteras.*— Estos trabajos son, principalmente, obras en las calzadas, pero llevan consigo prescripciones en su ejecución, cuyo coste es indepen-

diente de la naturaleza de la circulación que se ha de prever. Además, la antigua carretera puede servir, a veces, de capa de asiento. A falta de elementos de apreciación más precisos, no se puede razonablemente admitir que el aumento de gastos debido a la presencia de ejes pesados en la circulación es del mismo orden de magnitud que para los trabajos de construcción de nuevas carreteras.

2.º INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LOS VEHÍCULOS.

La longitud de los vehículos no afecta de modo sensible a las características de las carreteras. Indudablemente, la necesidad de permitir a los vehículos más largos inscribirse en las curvas, impide la utilización de radios pequeños; pero el ensanche de las curvas es asimismo necesario para evitar la disminución excesiva de velocidad de los otros vehículos.

3.º INFLUENCIA DE LA ANCHURA DE LOS VEHÍCULOS.

En los Estados Unidos se admite, en general, que el exceso de anchura de los vehículos comerciales obliga a ensanchar las vías de circulación marcadas en la calzada, y es, por tanto, único responsable del coste de ello proporcionalmente al sobreancho necesario. Ahora bien, en razón de la heterogeneidad de la circulación europea y principalmente del número de bicicletas y motocicletas, parece que dicha conclusión no podrá ser aplicada en Europa, salvo en las autopistas. Sin embargo, en determinados casos, el ancho de los vehículos comerciales puede ser el único motivo de los trabajos o dar origen a suplementos notables de gastos, aun prescindiendo de toda otra consideración sobre densidad de la circulación; es el caso, por ejemplo, de los ensanches de puentes o aun de las calzadas de las carreteras secundarias, realizados exclusivamente para permitir el cruce o adelantamiento de los vehículos de más anchura y no a causa de la intensidad del tráfico. Esperando poder realizar los trabajos de ensanche necesarios, un gran número de países europeos limita a menos de los 2,50 m. previstos en la Convención de 1949 la anchura de los vehículos admitidos a la circulación por la mayoría de sus carreteras. Pero es muy difícil evaluar el suplemento de gastos de que se trata, y todo lo más que se puede hacer es tener en cuenta, aproximadamente, esta responsabilidad especial de los vehículos de gran anchura, cuando se determinen los coeficientes de equivalencia entre vehículos, desde el punto de vista de la capacidad de la carretera.

4.º INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE LOS VEHÍCULOS.

Determinados trabajos de mejora de las carreteras son motivados únicamente por las grandes velocidades de ciertos vehículos; además, las caracterís-

ticas exigidas a las nuevas carreteras, a causa de las grandes velocidades, pueden llevar consigo suplementos de gastos no despreciables. Para cifrar estos gastos sería preciso evaluar las economías que se podrían realizar si todos los vehículos tuviesen la misma velocidad límite y la misma distancia de frenado que los pesados. Se podría, indudablemente, dejar de efectuar algunas rectificaciones de carreteras y realizar en otras, en carreteras nuevas y en desviaciones, economías por reducción del movimiento de tierras, cuyo límite superior parece ser el 20 por 100. Todos estos gastos que se podrían economizar se han de atribuir únicamente a la circulación rápida, es decir, a los turismos. Su evaluación es difícil, pero se puede estimar que dichos gastos no sobrepasan, en general, el 5 por 100 del coste de las carreteras nuevas y de las desviaciones.

I. B). Repartición de los gastos comunes entre los vehículos de las diversas

Se estudian en este capítulo los gastos comunes que son función del aumento de la circulación automóvil, pero que, a diferencia de los examinados en el capítulo anterior, no se pueden imputar directa y exclusivamente a una determinada categoría de vehículos.

En su caso se debe incluir, entre estos gastos, el coste de los subterráneos necesarios para retirar de las vías públicas los medios de transporte en común, a los que no deja suficiente sitio en superficie el actual desarrollo de la circulación automóvil.

1.º INVERSIONES EN TRABAJOS DE SEGURIDAD.

Ciertos trabajos de mejora de carreteras están motivados no por la densidad de la circulación, sino por la frecuencia de accidentes que se producen en puntos singulares de la red, y principalmente en intersecciones y curvas. En estos trabajos tienen una gran parte de responsabilidad los vehículos pesados a causa de su anchura, de sus menores posibilidades de frenado y del obstáculo que suponen, como asimismo de la impaciencia, productora de imprudencias, que provocan en los otros usuarios de la carretera; pero también los vehículos ligeros tienen una responsabilidad especial por razón de su velocidad. Estos dos efectos contradictorios se compensan parcialmente, e incluso, a falta de poder ponderar las causas reales de accidentes y los motivos de los trabajos, se puede admitir, de un modo aproximado, que la compensación tiene probabilidades de ser total y considerar que los vehículos de las diversas categorías son responsables de los trabajos proporcionalmente al kilometraje recorrido; y teniendo en cuenta la dispersión de los trabajos que se estudian en toda la red nacional, se puede, indudablemente también, adoptar

como base de la repartición el kilometraje anual recorrido en el conjunto de dicha red. Sin embargo, será preferible considerar aparte el caso de las grandes poblaciones, en que tales trabajos son excepcionales, y hacer la repartición en proporción a los kilometrajes anuales recorridos en carretera.

2.º INVERSIONES EN TRABAJOS DE CAPACIDAD.

La mayoría de los trabajos de ampliación y mejora de la red de carreteras tiene como finalidad solucionar la congestión del tráfico. Por consecuencia, los vehículos son responsables del importe de dichas obras en proporción al obstáculo que ellos suponen para la circulación que se quiere mejorar. Todo estudio de repartición debe, pues, definir primeramente cuáles son esas circulaciones, analizarlas y determinar en ellas el porcentaje de los diversos vehículos, e intentar evaluar los coeficientes de equivalencia entre los mismos desde el punto de vista de su ocupación. Un estudio de carácter nacional deberá, evidentemente, atenerse, en este aspecto, a medias nacionales. Sin embargo, será preciso distinguir:

a) *Los trabajos en las grandes poblaciones.* — Estos trabajos tienen como finalidad mejorar una circulación que durante varias horas del día está saturada o a punto de estarlo. Se podrá, por tanto, tomar como coeficiente de equivalencia el sitio ocupado por los vehículos en una circulación muy lenta. La fórmula $S_e = (L + 1)(b + 0,5)$, da la superficie ocupada por un vehículo estacionado, y la $S_d = (L + 0,208V)(b + 1)$ la de un vehículo en movimiento a la velocidad V (superficie dinámica); los artefactos de dos ruedas pueden considerarse aproximadamente equivalentes a 0,25 vehículos ligeros.

En lo que respecta a la composición de los tráficos más cargados, si no se puede determinar, se referirá a su composición media.

La repartición de los gastos puede hacerse, por consiguiente, de un modo aproximado en proporción al producto de los kilometrajes anuales recorridos en las grandes poblaciones, por la superficie ocupada por los vehículos en movimiento lento.

b) *Trabajos fuera de las grandes poblaciones.* — Estos trabajos están principalmente motivados por las puntas de tráfico. Como, en general, se mide la congestión de las vías refiriéndola al volumen de la hora 30, se puede evaluar la responsabilidad de los diversos vehículos partiendo de la composición de la circulación en dicha hora 30. Sin embargo, es raro que la elección de los trabajos se haga basándose únicamente en lo anterior, pues intervienen otras numerosas consideraciones, como son: deseo de constituir itinerarios homogéneos, no obstante las variaciones del tráfico a lo largo de ellos; importancia del tráfico a gran distancia; número de accidentes; forma de las curvas de los caudales clasificados, y relación entre

los tráficos medio y de punta, etc. (1). En numerosos casos es, pues, probable que la elección entre los trabajos posibles dependa tanto de la importancia del tráfico medio anual como de la importancia del tráfico de punta. Además, son cada vez más numerosas las administraciones que basan sus decisiones en estudios económicos, que hacen resaltar los beneficios que a la colectividad producirán las inversiones previstas; en estos casos, se puede pensar que el motivo de los trabajos no es un determinado volumen de circulación, sino la importancia de los beneficios obtenidos, y que la repartición de los gastos se deberá hacer en función de dichos beneficios y no de la ocupación de la carretera.

En resumen, parece que en cada caso se debe apreciar, teniendo en cuenta los procedimientos utilizados para la elección de los trabajos que se ejecuten, si conviene repartir los gastos en función de la composición del tráfico en la hora 30 del correspondiente al día más cargado, del medio anual o de una forma mixta. De todos modos, siempre sería preciso basarse en el tráfico por los itinerarios en que tengan lugar los principales trabajos, y si éstos están suficientemente dispersados, se podrá, para determinar la composición media anual del tráfico, referirse a la evaluación del kilometraje recorrido en un año en el conjunto de la red de carreteras fuera de las grandes poblaciones.

Igualmente existe una gran incertidumbre para la determinación de los coeficientes de equivalencia entre los diversos vehículos, desde el punto de vista de la ocupación de la carretera. Como la circulación no es muy lenta, no se pueden adoptar los mismos coeficientes que para las grandes poblaciones. Además, sería insuficiente referirse exclusivamente a la superficie ocupada por los vehículos en movimiento (superficie dinámica), porque un vehículo lento dificulta la circulación de los otros y limita la capacidad práctica de la carretera, como lo demuestra la formación de "paquetes" de coches desde el momento en que el tráfico es algo intenso. También, y como se dijo anteriormente, los coeficientes de equivalencia deben ser algo mayores para los vehículos de gran anchura, con el fin de tener en cuenta la responsabilidad más o menos exclusiva de los mismos en determinados trabajos. En realidad, los coeficientes de equivalencia varían según las características de las calzadas y la intensidad del tráfico. El anejo núm. 2 de la Declaración sobre las grandes carreteras de tráfico internacional admite, para las carreteras de dos vías, la equivalencia de un vehículo pesado por 2,66 turismos (2); pero se trata de un valor medio, y en el

(1) A causa del obstáculo que ocasionan los vehículos lentos, la curva de caudales clasificados puede separarse bastante sensiblemente de la de congestión real de la calzada.

(2) El anejo núm. 2 revisado acepta, para la capacidad práctica de las carreteras, volúmenes de 900 vehículos por hora, sin vehículos pesados, y 600 vehículos por hora, con un 30 por 100 de vehículos pesados; lo que supone admitir un coeficiente de equivalencia de 2,66.

escaionamiento de los coeficientes de los vehículos pesados según su tonelaje. no se ha llegado a conclusiones precisas. A lo sumo, se puede aceptar que, para vehículos de la misma anchura, el coeficiente de equivalencia es tanto más elevado cuanto menor es la potencia del motor, por Tm. de peso, y que, salvo en el caso de carreteras muy sinuosas o muy accidentadas, el coeficiente medio de equivalencia de los vehículos de más de 10 Tm. de carga útil no es ni inferior al 125 por 100 ni superior al 250 por 100 del 2,66 citado anteriormente.

En definitiva no existe, en el estado actual de las investigaciones, ningún método satisfactorio para determinar las responsabilidades respectivas de los vehículos de las diversas categorías en la parte de los gastos de mejora que se estudian. A título de una primera aproximación, se puede admitir que el efecto de las puntas de tráfico de los turismos compensa, en gran parte, el de ocupación de los vehículos pesados, y que una repartición proporcional a los kilometrajes anuales (1) sólo supondría una ligera ventaja para los vehículos pesados. La adopción de tal sistema de repartición presenta la ventaja de que evita tener que realizar una distribución difícil de los trabajos nuevos en inversiones de capacidad y de seguridad, puesto que las inversiones, cuyo fin es reducir los accidentes, como se dijo anteriormente, se pueden también repartir de la misma manera.

Conclusiones.

En resumen, y sin olvidar las numerosas aproximaciones que llevan consigo las fórmulas propuestas, se sugiere repartir, entre los vehículos, los gastos estudiados en el presente capítulo de la forma siguiente:

a) En las grandes poblaciones, proporcionalmente al producto del kilometraje anual recorrido en ellas, por la superficie ocupada por los vehículos en una circulación muy lenta.

b) En el resto de la red, proporcionalmente a los kilometrajes anuales recorridos fuera de las grandes poblaciones.

II. Repartición de los gastos de explotación, de conservación y de grandes reparaciones de la red de carreteras entre los vehículos de las diversas categorías.

1.º GASTOS DE VIGILANCIA DEL TRÁFICO.

Los gastos de vigilancia que se han de estudiar son aquellos de los que se podría prescindir en caso que no existiese circulación automóvil. Su evaluación

(1) Sin embargo, es preciso considerar de manera particular los vehículos de dos ruedas (ciclomotores y motocicletas), para los que parece que se puede admitir que, desde el punto de vista de la capacidad de las carreteras fuera de las poblaciones, equivalen a 0,5 vehículos ligeros.

es difícil y también lo es determinar cómo varían en el caso de una modificación de la intensidad del tráfico; si el volumen del tráfico, por ejemplo, aumenta en un 50 por 100, será quizá necesario en determinados casos incrementar en más del 50 por 100 los efectivos de la vigilancia, mientras que en otras redes de carreteras podrá bastar con un aumento de efectivos relativamente pequeño. A *grosso modo* se puede admitir que un 50 por 100 de los gastos de vigilancia no estarían afectados por una variación en más o en menos del volumen del tráfico automóvil, y ellos deben, pues, considerarse como gastos generales de la circulación.

Repartir entre los diversos vehículos los restantes gastos de vigilancia, es igualmente muy delicado. A causa de su velocidad, y sobre todo de sus puntas de tráfico, los turismos tienen, indudablemente, una gran responsabilidad; pero ocurre, sin duda, lo mismo a los vehículos comerciales por razón de su tamaño. Se admitirá que estos dos efectos se compensan y se efectuará la repartición proporcionalmente a los kilometrajes anuales de los diversos vehículos, contando aquí también los artefactos de dos ruedas como 0,5 turismos. Bien entendido que será necesario llevar a cabo repartición distinta de los gastos para grandes poblaciones que para el resto de la red de carreteras.

2.º GASTOS DE SEÑALIZACIÓN, MARCAS Y ALUMBRADO.

Los gastos de señalización y de balizamiento aumentarán un poco en el caso de un gran incremento del tráfico, pero a falta de poder evaluar el coeficiente de dicho aumento, se les considerará en su totalidad como gastos generales de la circulación automóvil.

Los gastos efectuados en las marcas sobre el pavimento están mucho más relacionados con el volumen del tráfico; estas marcas, en efecto, son tanto más necesarias y se borran tanto más rápidamente cuanto mayor es la intensidad del tráfico. Se admitirá, pues, que estos gastos se reparten como los relativos a la conservación del pavimento que se estudian después.

Los costes del alumbrado de las carreteras fuera de las poblaciones son motivados, salvo casos particulares, por el aumento de la circulación automóvil. Lo mismo ocurre a la mayoría de los costes de alumbrado de los grandes itinerarios en sus travesías por las poblaciones. En estos gastos los turismos tienen una responsabilidad especial con motivo de sus puntas de tráfico, y los vehículos pesados, por razón de su tamaño y de la gran proporción de su kilometraje recorrido durante la noche. Se admitirá que ambas causas se compensan y que se pueden repartir los gastos proporcionalmente a los kilómetros recorridos anualmente. Los restantes gastos de alumbrado en las poblaciones aumentan con el volumen del tráfico, pero también con la elevación del nivel de vida de los habitantes; se puede aceptar que la mitad de los gastos son generales, no imputables a la circulación automó-

vil, y que la otra mitad se debe atribuir únicamente a los turismos, porque en la circulación nocturna de las poblaciones, fuera de los itinerarios de tránsito, no hay más que un pequeño número de vehículos comerciales.

Las modalidades de repartición indicadas anteriormente para los gastos de señalización, alumbrado y marcas no son, indudablemente, más que aproximaciones; pero como aquéllos no representan más que una fracción relativamente pequeña del coste total de las carreteras, el error que se comete no tiene graves consecuencias en el grado de exactitud de los resultados globales.

3.º GASTOS DE ADMINISTRACIÓN.

Una gran parte del coste de los servicios de carreteras (personal y gastos de funcionamiento) es independiente del volumen de los trabajos de conservación o de inversión. Los únicos gastos de administración que tienen relación con el volumen del tráfico automóvil son los referentes a la organización y control de los trabajos que dicho tráfico ha hecho necesarios.

En Francia se admite que un poco más de los 2/3 de los gastos de administración deben considerarse como generales y comunes, por tanto, a todos los usuarios de la carretera; este orden de magnitud es aceptable. El otro tercio de los gastos de administración se podrá repartir de la misma manera que el coste de los trabajos nuevos y de los de conservación, reparación o renovación.

4.º GASTOS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RENOVACIÓN.

Se distinguirán entre ellos los que son independientes del volumen y la composición del tráfico y los variables con estos factores.

a) *Gastos independientes del volumen y de la composición del tráfico automóvil.* — Los gastos de conservación de los paseos y cunetas, de plantaciones (salvo quizá las de los setos centrales de las carreteras de dos calzadas separadas) y los de pintura de los puentes metálicos, son independientes del volumen y de la composición del tráfico. Lo mismo ocurre con los gastos de conservación que serían necesarios para mantener la carretera en buen estado aunque no existiese circulación: conservación de las juntas en las calzadas de hormigón hidráulico y renovación periódica de la capa de rodadura de las calzadas con aglomerantes bituminosos con motivo del envejecimiento de éstos. La relación de estos gastos constantes al total de los de conservación ordinaria varían mucho según las categorías de las carreteras; aproximadamente un 20 por 100 en los itinerarios más frecuentados; puede elevarse al 80 e incluso al 90 por 100

en las carreteras secundarias. En el estudio que, como se ha dicho anteriormente, se ha efectuado en Francia, se evalúa en un 55 por 100 para el conjunto de la red de carreteras; pero es probable que este porcentaje sea más pequeño en los casos en que la densidad media de la circulación por las carreteras secundarias sea mayor que en aquel país.

Algunos gastos de grandes reparaciones o de reconstrucción son igualmente independientes del volumen y de la composición del tráfico; tales son los motivados por corrimientos de terrenos, que arrastran consigo la plataforma de la carretera, o los que son necesarios a consecuencia de la instalación de canalizaciones. Su importe varía según los casos, pero, en general, es pequeño en relación con el total de esta clase de gastos.

b) *Repartición de los gastos, que varían con el volumen y la composición del tráfico automóvil.* — Si los gastos de conservación que se han citado anteriormente se hicieran a tiempo y no existiese tráfico alguno (1), las calzadas y las obras de fábrica tendrían una vida prácticamente ilimitada. Por consiguiente, los restantes gastos son causados exclusivamente por la circulación de vehículos.

En estos gastos se pueden distinguir:

a) Los de renovación o conservación de la capa de rodadura, motivados por el desgaste de ella o por su destrucción con motivo de choques tangenciales.

b) Los de reparación o renovación causados por los desgastes en profundidad sufridos por la calzada.

Los estudios realizados hasta ahora en Europa reparten, en general, los gastos de reparación o de reconstrucción proporcionalmente a una determinada potencia ($1/2$, 1 , $3/2$, 2 , etc.) del peso de los vehículos, e incluso distribuyen de esta forma la totalidad de los gastos de conservación y reparación. Sin embargo, el análisis del proceso de destrucción de la calzada aconseja que se actúe de manera diferente y que se dé un trato distinto a los gastos que se indican respectivamente en los apartados a) y b). Aun cuando la separación de los gastos totales en esas dos clases no pueda hacerse más que de un modo aproximado, parece que actuando así se obtendrá un resultado menos inexacto que utilizando una fórmula única de repartición. En efecto, vamos a ver que los coeficientes de equivalencia entre vehículos pesados y ligeros para la repartición de los gastos motivados por los desgastes superficiales son relativamente pequeños, mientras que los costes de la reparación de los desgastes en profundidad son casi exclusivamente imputables a los vehículos pesados.

Los desgastes superficiales, cuya reparación ocasionan los gastos del apartado a), son función de las aceleraciones y frenados, de la presión de los neumáticos y de su superficie de contacto con la calzada,

(1) Sin embargo, una circulación moderada es un medio de estabilización y conservación de la capa de rodadura, y en las calzadas flexibles, al principio, un medio de consolidación de las otras capas.

y por último, a causa de los choques, de la velocidad de los vehículos y de su suspensión. Se puede admitir que la responsabilidad de los diversos vehículos en los gastos es aproximadamente proporcional al desgaste, en peso, de la superficie de rodadura de sus neumáticos, y efectuar la repartición de los citados gastos proporcionalmente al producto de los kilometrajes anuales por los coeficientes de equivalencia así determinados. Se puede aceptar que el coeficiente de equivalencia medio entre un vehículo pesado y un turismo es aproximadamente 3.

Es preciso subrayar que determinadas renovaciones de la capa superficial no son motivadas por su envejecimiento, sino que son causadas bien por los desniveles que se producen en ella, que han podido agravar el desgaste por choques tangenciales, bien por el agrietado de la capa de rodadura debido a su rotura por fatiga. La renovación de la capa superficial debe entonces considerarse como gasto de la categoría b).

En los gastos de esta categoría b), que se pueden llamar de grandes reparaciones o de reconstrucción, la responsabilidad de los ejes pesados es preponderante. En efecto, en la degradación de las calzadas, la magnitud de los deterioros para un mismo número de pasos de ejes es función de la carga de éstos; asimismo, la responsabilidad de los vehículos ligeros en dichos deterioros es prácticamente despreciable y la de los vehículos comerciales crece tan rápidamente con el peso de sus ejes que se podría, incluso, pensar en prescindir igualmente de la responsabilidad de los vehículos comerciales ligeros. Sin embargo, a consecuencia de la disminución muy pronunciada del esfuerzo resistente de los terrenos cuando están embebidos en agua, como asimismo a causa de los desgastes producidos por el hielo y de la existencia de calzadas muy ligeras, es razonable atribuir a los vehículos comerciales con ejes de 1,5 a 5 Tm. una determinada responsabilidad de los desgastes durante las épocas en que las condiciones climatológicas son desfavorables; pero es probable que, en la mayoría de los casos, su parte de responsabilidad en el conjunto de los gastos que se estudian no sobrepasa del 10 al 20 por 100. El resto, o sea del 80 al 90 por 100, hay que atribuirlo exclusivamente a los vehículos pesados.

Queda por examinar el caso de las obras de fábrica. Estas pueden perecer también por fatiga, debida a los esfuerzos alternativos provocados por el paso de vehículos pesados; en consecuencia, los gastos de reconstrucción de los puentes que han llegado a su límite de fatiga hay que atribuirlo en su totalidad, o en casi su totalidad, a los ejes pesados. Sin embargo, estos casos se presentan muy raras veces, debido a los elevados coeficientes de seguridad que se adoptan para las obras de fábrica. La mayoría de las sustituciones de puentes tienen por causa la estrangulación que producen de la circulación o la insuficiencia de su resistencia y los gastos se han de imputar, en la

forma que se indica en el capítulo I, A) "Extensión o mejora de la red de carreteras".

En definitiva, la repartición entre las diversas categorías de los vehículos automóviles de los gastos estudiados en este capítulo, parece que podría ser la siguiente:

a) Repartir, proporcionalmente al kilometraje anual, la mitad de los gastos de vigilancia, así como la totalidad de los de alumbrado fuera de las poblaciones y del de las travesías de ellas.

b) Atribuir exclusivamente a los turismos la mitad de los gastos de alumbrado en las poblaciones, con excepción del de las travesías.

c) No repartir, por tratarse de gastos generales, la otra mitad de los gastos de vigilancia, la totalidad de los de señalización, los de alumbrado no considerados en los apartados a) y b), los $\frac{2}{3}$ de los gastos de administración y del 35 al 55 por 100 de los de conservación ordinaria.

d) Repartir los restantes gastos de administración de forma análoga a la utilizada para el caso de los costes de los trabajos nuevos o de los de conservación, de reparación y de renovación.

e) Repartir, proporcionalmente al producto de los kilometrajes anuales por coeficientes de equivalencia que varían de 1 para los turismos a 3 para los vehículos pesados, del 45 al 65 por 100 de los gastos de conservación ordinaria.

f) Considerar como gastos generales una parte, variable según los casos pero pequeña en general, de los gastos de reparación o de renovación, e imputar la gran mayoría del 80 al 90 por 100 del resto de dichos gastos a los vehículos pesados, y el otro 10 al 20 por 100, a los otros vehículos comerciales.

III. Comparación de los gastos para ejes de 8 y de 10 Tm.

A continuación, y basándose en las conclusiones de los capítulos I y II, se trata de comparar los gastos ocasionados respectivamente por ejes de 8 y de 10 toneladas métricas. Para un mismo volumen de transporte, el paso de ejes de 8 a los de 10 Tm. se traduce por:

a) Un aumento de la proporción de las inversiones, imputable a los ejes pesados.

b) Un incremento de los gastos de reparación o renovación atribuibles a esos ejes.

c) Estabilidad de los otros gastos.

El aumento de las inversiones proviene, sobre todo, del suplemento de espesor necesario para el conjunto de las capas de la calzada; este suplemento de espesor es del orden del 10 por 100 del total, pero el incremento de gastos con relación al coste total de la construcción de la carretera es relativamente débil.

El incremento de los gastos de reparación o de renovación es esencialmente variable según la constitución de las calzadas; débil en los casos en que

las calzadas actuales son suficientemente resistentes, puede ser muy importante en otros, cuando se trate de reparar los desgastes causados o reforzar la calzada para prevenirlos. Tales calzadas de resistencia limitada, que con ejes de 8 Tm. resistirían aún una determinada circulación, perecerán dos o tres veces más deprisa para el mismo volumen de transporte pesado si se sustituyen los ejes de 8 Tm. por los de 10; sobre las otras no se notará ninguna diferencia apreciable.

1.º INVERSIONES Y GASTOS COMUNES DE VIGILANCIA, DE ALUMBRADO Y DE CONSERVACIÓN ORDINARIA.

En los actuales parques de vehículos pesados en servicio, la potencia unitaria de los motores por tonelada métrica de peso total en carga, decrece, en general, cuando el peso del vehículo aumenta. A causa de la menor velocidad y de las posibilidades más limitadas de aceleración que resultan de estas reducciones de potencia unitaria, como asimismo, aunque en una proporción menor, de sus mayores dimensiones, un vehículo con uno o varios ejes de 10 Tm. constituye, en general, un obstáculo mayor desde el punto de vista de la capacidad práctica de la calzada, que un vehículo teniendo el mismo número de ejes y cuyo peso por eje no sobrepase las 8 Tm. Por consiguiente, en la repartición de las inversiones proporcionalmente a la ocupación de la calzada, capítulo I, B), la parte de un vehículo con ejes de 10 Tm. será superior a la de otro con ejes de 8 Tm. Es difícil determinar a este respecto los coeficientes medios de equivalencia; pero el aumento de gastos no parece que, aun en los casos más desfavorables, debe sobrepasar del 15 al 20 por 100. De todos modos, es posible y conveniente que la construcción automóvil se oriente hacia el aumento de la potencia unitaria del motor para los vehículos más pesados, y en este caso, el exceso de gastos imputable a un vehículo con ejes de 10 Tm. en relación a otro con ejes de 8 Tm., no procederá más que de la diferencia de dimensiones de los mismos y será extremadamente pequeña.

El capítulo II reparte proporcionalmente al kilometraje recorrido los gastos de vigilancia y alumbrado ocasionados por la circulación automóvil, porque admite una compensación entre el efecto de las puntas de tráfico de los turismos y el de ocupación de los vehículos pesados. Pero dentro ya de la categoría de éstos, la repartición de los gastos de vigilancia y alumbrado debe tener en cuenta la ocupación respectiva de los vehículos. A igual kilometraje, un vehículo con ejes de 10 Tm. tiene, pues, en estos gastos una responsabilidad mayor que otro con ejes de 8 Tm.; pero este aumento no parece que puede sobrepasar el máximo antes indicado del 15 al 20 por 100.

Asimismo, el capítulo II admite que los gastos de conservación ordinaria para la renovación de las capas de rodadura se reparten proporcionalmente al

desgaste en peso de los neumáticos; la diferencia entre un eje de 8 Tm. y otro de 10 parece ser entonces de un 15 por 100 aproximadamente.

Ahora bien, un aumento del 25 por 100 del peso máximo por eje permite efectuar el mismo volumen de transporte con un número menor de vehículos pesados-Km. (1); indudablemente, la disminución es inferior a un 25 por 100, pero aunque no sobrepase el 15 por 100, el conjunto de los gastos imputables a los vehículos pesados, que se ha estudiado anteriormente, no aumentará en el caso de sustitución de ejes de 8 Tm. por los de 10.

2.º INVERSIONES Y GASTOS DE REPARACIÓN Y DE RENOVACIÓN QUE SE HAN DE IMPUTAR A LOS VEHÍCULOS PESADOS A CAUSA DE SU PESO.

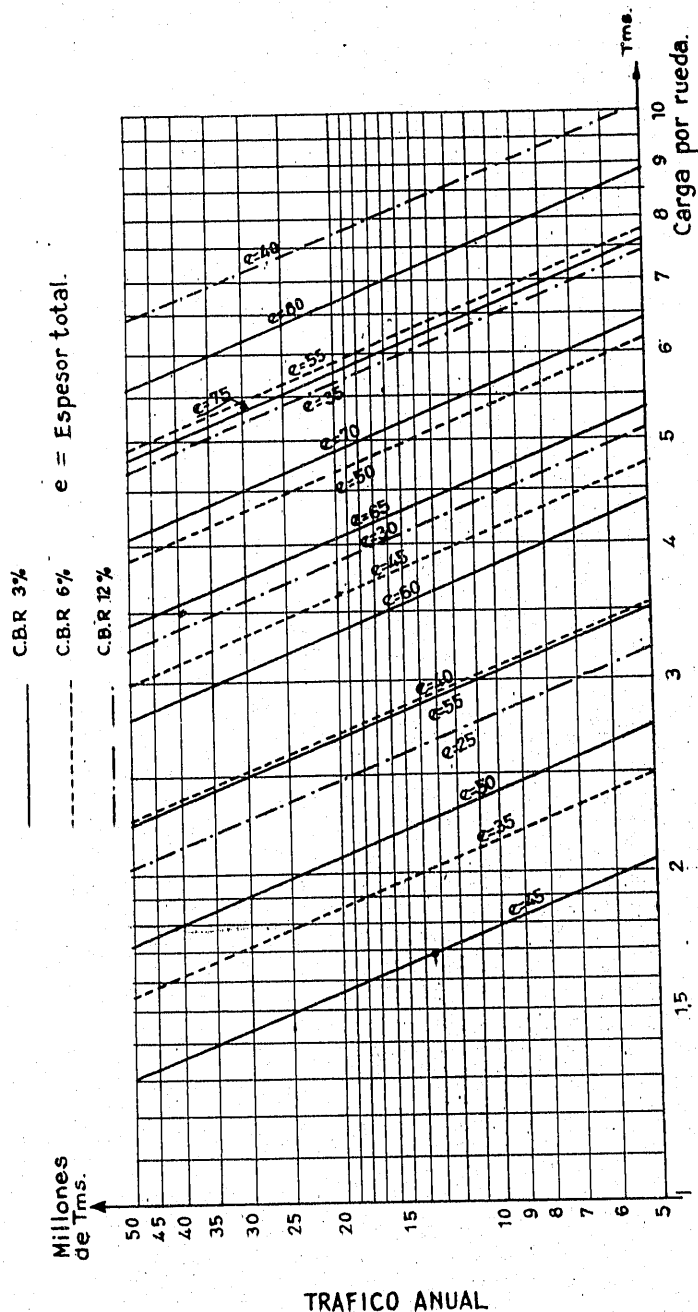
Para estudiar cómo varían las inversiones y los gastos de reparación que se han de atribuir a los vehículos pesados en relación con su peso, observaremos primeramente que, para un mismo volumen de transporte, el aumento de la carga por eje no reduce el tonelaje total del tráfico más que en las posibles economías que en las taras de los vehículos se obtendrán con la adopción de ejes más pesados; esta reducción será menor de un 5 por 100.

Sentado esto, veamos los suplementos de gastos para una calzada nueva utilizando el método CBR. El aumento de espesor necesario para pasar del eje de 8 Tm. al de 10 con un volumen de tráfico pesado constante (o con una reducción menor de un 5 por 100), varía en valor absoluto con el índice CBR del terreno, pero es del orden del 10 por 100 del espesor primitivo. El aumento de espesor se refiere a las capas inferiores de la calzada, y en un gran número de casos el porcentaje de aumento de los gastos será netamente inferior al de incremento del espesor. Pero también a medida que la potencia de los motores por tonelada métrica de peso en carga decrece, cuando el peso de los vehículos aumenta, el movimiento de tierras corre el riesgo de ser más importante, porque las pendientes y rampas admisibles son menores. En total, el aumento de los gastos que se estudian imputables a la sustitución de los ejes de 8 por los de 10 Tm., parece relativamente pequeño.

Pasemos ahora a estudiar los costes de reparación de los desgastes causados en las calzadas existentes por los vehículos pesados. La figura, que da los resultados de aplicación de la fórmula del método CBR, muestra la influencia de la carga por eje. Esta influencia es sensible cuando el espesor de las calzadas es insuficiente o estrictamente el necesario para ejes de 10 Tm. En tal caso, un pequeño número de repeticiones de estos ejes de 10 Tm. puede bastar para destruir las calzadas que hubieran podido resis-

(1) La disminución del precio de coste de la Tm./Km. puede, sin embargo, producir un incremento del transporte por carretera.

tir sin inconveniente un gran número de pasos de ejes de 8 Tm. En los ábacos de dicha figura se ve, por ejemplo, que una circulación anual de 14 millones



de toneladas (por metro de ancho de calzada) con ejes de 10 Tm., produce sobre una calzada de 0,50 m. de espesor y un índice CBR-6, la misma sollicitación que otra circulación de 43 millones de toneladas con ejes de 8 Tm. Además, si el punto representativo del

tráfico con ejes de 8 Tm. se encuentra sobre el ábaco muy ampliamente a la izquierda de la recta característica de la calzada, el punto representativo del tráfico con ejes de 10 Tm. permanecerá igualmente a la izquierda de esta recta, lo que quiere decir que la sollicitación del firme está dentro de límites admisibles; pero en las calzadas de resistencia insuficiente, el nuevo punto representativo se encontrará a la derecha, lo que significa que la sollicitación ejercida ha llegado a ser demasiado fuerte para dicha resistencia. El problema, por consiguiente, está en saber cuál es en la red de carreteras la proporción de las calzadas que, siendo suficientemente resistentes para ejes de 8 Tm., no lo son para los de 10. Este problema no está resuelto. Los resultados de las experiencias Maryland y WASHO, o de los ensayos recientes de Lahr en la República Federal Alemana, no proporcionan informaciones válidas más que para las calzadas sometidas a estos estudios y no se puede generalizarlas a otras de constitución diferente.

3.º COSTE DEL REFUERZO EVENTUAL DE LAS CALZADAS EXISTENTES.

Queda por estudiar cuál sería el coste del refuerzo de las calzadas existentes para evitar que la sustitución de los ejes de 8 Tm. por los de 10 produzca un aumento de los desgastes en profundidad. Para ello es preciso distinguir el caso de las calzadas de hormigón hidráulico y el de las flexibles. En las primeras, el resultado que se puede esperar de un tapiz superficial constituido por un aglomerado sería muy aleatorio; si la calzada existente es insuficiente, la única solución es, sin duda, reconstruirla o superponerle una nueva.

Para las flexibles, se ve en la figura que el sobreespesor que hay que añadir a una calzada capaz de resistir ejes de 8 Tm., para hacerla suficientemente resistente al mismo volumen de transporte con ejes de 10 Tm., varía de 3 a 6 cm., según el índice CBR del suelo que sustenta la calzada; por razones constructivas, ese sobreespesor no podría, indudablemente, bajar de 4 cm.

Ahora bien, el coste de una capa de calzada de 1 m.² y de 4 a 6 cm. de espesor, no es mayor de 10 a 15 pesetas. La rentabilidad de tal refuerzo depende, evidentemente, de la intensidad del tráfico pesado que se prevea, y admitiendo, por ejemplo, que se autorizarían inversiones públicas desde el momento en que las economías anuales que produzcan alcancen el 12 por 100 de su coste, bastaría, en el caso más desfavorable, para que los trabajos sean rentables en una carretera de dos vías con calzada flexible, que el paso de ejes de 8 Tm. al de 10 originase una economía anual en el precio de coste de los transportes de 8 400 a 12 600 pesetas (según la naturaleza del suelo) por kilómetro.

Conclusiones.

En definitiva, si no fuesen de temer desgastes en profundidad en las calzadas existentes, una elevación de 8 a 10 Tm, del límite de la carga por eje no tendría más consecuencia que aumentar relativamente poco el coste de los trabajos nuevos; tal aumento sería, sin duda, inferior a las economías en el precio de coste que se obtendrían en los transportes por vehículos pesados con la citada elevación de la carga por eje. Pero, desgraciadamente, el riesgo de los desgastes suplementarios en profundidad para las calzadas existentes, varía de tal manera de un caso

a otro, que no se puede deducir ninguna conclusión general por el momento. El refuerzo de estas calzadas existentes con una capa superficial suplementaria puede no dar, en determinadas carreteras, más que un resultado aleatorio, y no está justificado económicamente en otras.

Esperemos que los ensayos de AASHO que se están realizando en los Estados Unidos y las experiencias que se continúan efectuando en Europa, conduzcan a precisar o a modificar algunas de las conclusiones expuestas, y a resolver, en definitiva, el problema planteado, que tan enorme trascendencia tiene para las economías de los diferentes países.