

hay duda de que la respuesta habría de ser afirmativa. Pero en las filas de árboles de vías públicas, la distancia entre dos inmediatos es de 7 metros, como término medio, y puede graduarse en unos setenta años el tiempo que viven de asiento: como en plazo tan prolongado las raíces adquieren gran desarrollo y sólo verifican la absorción por las espongiolas terminales, se comprende que los árboles deben llevar ya al cortarlos muchos años de vivir á expensas de tierra situada á distancia considerable de su eje, y que la próxima al mismo ha tenido tiempo sobrado de cargarse otra vez de principios nutritivos y adquirir condiciones para alimentar á las plantas nuevas. Además de estas razones, la experiencia hace ver que, aun cuando no se varíen las especies, se desarrollan las recientes con tanta lozanía como las antiguas, y que la repoblación de montes por diseminación natural produce individuos de robustez y dimensiones que en nada desmerecen de las que presentaban los árboles generadores.

CAPÍTULO IV.

AVALÚO DE LOS GASTOS DE CONSERVACIÓN.

INTRODUCCIÓN.

Las consideraciones que se exponen en este capítulo se refieren únicamente á las carreteras afirmadas con piedra partida, que son las de verdadera importancia en el servicio de Obras públicas. Los demás firmes, que se describieron en la sección segunda, apenas se emplean más que en vías urbanas, y los gastos que ocasionan varían entre límites tan extensos, según las circunstancias locales, que es en extremo difícil, por no decir imposible, establecer principios que permitan valuarlos con alguna aproximación. No se crea que el problema es sencillo, aun concretándolo á los caminos afirmados con macádam, pues los dispendios que requiere su conservación dependen de elementos muy complejos, cuya influencia está bien lejos de conocerse con exactitud: en suma, sólo la práctica y el estudio concienzudo en cada caso pueden servir de pauta fija, como atinadamente manifestó el Sr. Graeff en su

Memoria (páginas 212 y 213). Conviene, á pesar de todo, dar idea de los principales trabajos que sobre el particular han hecho Ingenieros distinguidos; y al efecto, se tratará en los dos primeros artículos, de las carreteras conservadas respectivamente por los métodos de bacheos y recargos, dedicando el tercero y último á poner de manifiesto los gastos totales y medios de conservación y reparos en las carreteras de España, que están á cargo de la Administración central.

I.—CARRETERAS CONSERVADAS POR BACHEOS.

Principios de Dupuit.—Dupuit se ocupó en valuar los gastos de conservación, sentando bases, muy discutibles algunas de ellas, en la notable Memoria que publicó en 1842 en los *Anales de Puentes y Calzadas*. Limitando, por lo pronto, el examen al afirmado, demuestra cumplidamente aquel Ingeniero que, aun suponiendo conocida con exactitud la suma anual necesaria para conservar la tersura de la superficie y el espesor del firme de una carretera, existe una relación determinada entre las cantidades que se han de invertir en material y mano de obra, que no cabe alterar sin que se resienta la vialidad ó se vaya consumiendo el capital representado por el macizo de piedra y de detritos. Supóngase conocida, por un momento, dicha relación, y ajústense á ella los gastos; claro es que entonces ni el firme se reducirá ni perderá el suelo sus buenas condiciones para la rodadura. Si conservando el mismo desembolso total se aumenta la mano de obra, á los peones les sobrará tiempo para extraer detritos y bachear: el camino se mantendrá en perfecto estado para la tracción; pero como al firme no se le restituye el material que exige, su espesor disminuirá de año en año, resultando á la postre la necesidad de repararlo, obra que hubiera podido evitarse con distribución más acertada y sin perjuicio alguno para el público. Fuércese, por el contrario, la cantidad de materiales: los bacheos y limpieas se harán mal por falta de peones; el afirmado aumentará de grueso, mas su superficie dejará mucho que desear, y será preciso dirigir todos los esfuerzos á quitar polvo y desenlodar, no empleando más pie-

dra que la estrictamente indispensable para mantener el suelo terso y unido.

Las consideraciones que preceden suponen que se conozca la cantidad total necesaria para conservar el firme, elemento con que no se cuenta en la práctica, sucediendo que el crédito concedido es algunas veces mayor, pero casi siempre más pequeño que el que pudiera llamarse *normal*. En uno ú otro caso, y según el reparto que se haga entre materiales y peones, el firme se resentirá por el estado de su superficie, por las variaciones de espesor ó por ambas cosas á la vez: la cuestión es tan clara, que no hay para qué insistir en pormenores.

De todos estos razonamientos deduce Dupuit la necesidad de fijar los elementos tantas veces mencionados, y su teoría se resume en los dos principios siguientes: 1.º, la cantidad anual de material que ha de emplearse en la conservación, es idéntica al *desgaste* que en el mismo período experimenta la calzada; 2.º, la mano de obra se ha de graduar de suerte que los peones tengan tiempo para emplear el material, con arreglo á las prescripciones conocidas, y para extraer con esmero los detritos. Estas bases son exactas, y sería suficiente conocer, para calcular los gastos anuales de la conservación de un kilómetro de firme:

1.º El desgaste medio, d , por año y kilómetro, expresado en metros cúbicos.

2.º El precio, p , de adquisición del metro cúbico de material ya preparado y al pie de obra.

3.º El jornal, j , que se paga á un peón.

4.º El número de jornales, n , que invierte el peón en emplear un metro cúbico de material.

5.º El número, n' , que mide la parte de jornal que consume el mismo operario en extraer los detritos correspondientes á un metro cúbico de desgaste.

Llamando g al gasto de conservación del firme por año y kilómetro, se tendrá:

$$g = d [p + (n + n') j] \quad (1).$$

Conviene, no obstante, hacer una advertencia antes de prose-

guir. En la fórmula anterior, d , ó sea el desgaste, podrá expresarse tomando por unidad el metro cúbico de firme consolidado, ó igual volumen de material, medido sin descontar huecos, según el sistema que se siga para determinarlo. En el primer caso, la cantidad de piedra partida necesaria para reponerlo será la que se invierta en formar el volumen d de firme; en el segundo, puede admitirse sin error sensible que el volumen de material medido en cajones sea igual á d .

En cada localidad se conocen p y j ; n y n' se deducen con bastante exactitud experimentalmente; pero la valuación de d presenta serias dificultades, sobre exigir ensayos largos y repetidos, como se echará de ver, exponiendo los procedimientos usuales.

Determinación del desgaste.—Se efectúa: 1.º, por la medición de los detritos; 2.º, por cubicaciones del firme, haciendo previamente catas; 3.º, por mediciones con la regla de Mary; y 4.º, expresándolo en función de la frecuentación y de la calidad del material.

POR MEDICIÓN DE LOS DETRITOS.—Es el método recomendado por Dupuit. Consiste en recoger, durante un año, todos los detritos que se saquen del firme, en estado de polvo ó barro; medirlos, y considerar el desgaste como igual al volumen que se encuentre. Claro es: 1.º, que antes de empezar los ensayos se ha de limpiar perfectamente la superficie, y no depositar más barreduras que las que se extraigan del camino, cuando esté en perfecto estado de conservación; 2.º, que los experimentos habrán de llevarse á cabo en todos los trozos en que cambien la naturaleza ó entidad del tránsito y las condiciones de los materiales; 3.º, que la longitud que se someta á los ensayos podrá ser tanto más pequeña, cuanto más activa sea la circulación, oscilando, por lo común, entre 200 metros y un kilómetro; y 4.º, que en lo posible deben escogerse al efecto tramos de poca inclinación, lejos de travesías y en trozos á cargo de camineros inteligentes.

Á primera vista parece que el número deducido por este sistema será mayor que el desgaste, en atención á las materias extrañas que se recogen con los detritos; pero esta influencia es bastante escasa, como lo prueba el examen detenido de los montones y de la densidad media, que es siempre superior á la de la piedra

(por supuesto sin descontar huecos en uno ni otro caso), lo que no ocurriría si la proporción de hojas secas, excrementos, etc., fuese considerable: por otra parte, si algunas sustancias pueden caer en el firme ó depositarlas las ruedas de los vehículos, de mayor importancia son casi siempre los detritos que arrastran los vientos y lluvias. Resulta, por tanto, que el desgaste es constantemente superior al volumen de barreduras, sin que pueda precisarse en cuánto, lo cual justifica que Muntz, Gasparin y otros Ingenieros proscriban el sistema y se muestren partidarios del de cubicación directa.

De admitir el procedimiento descrito, hay que fijarse en que el volumen que se deduce no es de firme, sino de material desagregado que presenta huecos algo menores, pero no mucho, que la piedra machacada: en este caso, pues, el cubo de material indispensable para reponer el desgaste es próximamente igual al que la experiencia señale para los detritos.

POR CATAS Y CUBICACIONES.—Es el sistema más exacto, y en esencia se reduce á cubicar el firme en dos épocas distintas y calcular el volumen consumido, teniendo en cuenta el de material empleado en la conservación de la tersura, en el período que medie entre ambas mediciones. Éstas deben hacerse en estaciones iguales, practicando las calicatas alternativamente en cada mitad del firme y nunca en el mismo sitio que las precedentes, por la desagregación, ó por lo menos cambio de naturaleza, que ha podido experimentar el macizo. Los espesores hallados sirven para dibujar los perfiles transversales correspondientes, y determinar sus áreas, con las cuales y las distancias entre aquéllos se poseen los datos necesarios para cubicar el firme por cualquiera de los procedimientos conocidos. Como garantía de exactitud en los resultados, conviene que transcurra bastante tiempo, cuatro ó cinco años, entre las dos operaciones.

Si V es el volumen del firme en la primera cubicación, V' el hallado en la segunda y v el del material empleado, reducido á volumen de firme, para no comparar más que cantidades homogéneas, es evidente que el desgaste D , en todo el período comprendido entre las dos mediciones, será:

$$D = V - V' + v,$$

y el desgaste medio anual, d , suponiendo que dicho período sea de n años,

$$d = \frac{D}{n} = \frac{V - V' + v}{n}.$$

POR LA REGLA DE MARY.—El método no difiere del anterior sino en el modo de deducir las cotas para trazar los perfiles transversales. En lugar de hacer calicatas, se usa la regla de madera ideada por el Inspector general de Puentes y Calzadas, Sr. Mary, que representa la figura 84.^a, lámina 7.^a Es un poco más larga que la mitad del ancho de la carretera; uno de sus extremos lleva un vástago, a , que se apoya en un hito, empotrado previamente en el paseo, y cuya altura sobre el fondo de la caja se conoce con exactitud; al otro extremo, y en correspondencia con el eje del camino, va un tornillo, d , que se hace girar hasta que la regla sea horizontal, lo que se comprueba con una plomada, c , ó por cualquier otro medio. El instrumento presenta, á distancias constantes, aberturas que dan paso á una reglilla graduada, que por lo común es de cobre, y sirve para leer las ordenadas en los puntos b . Con los elementos observados se trazan los perfiles, y se continúa como en el caso anterior. El procedimiento quizá no sea tan riguroso, pero es más expedito, no obliga á desarreglar el firme con numerosas calicatas y permite efectuar las mediciones cuantas veces se desee.

POR LA FRECUENTACIÓN Y LA CALIDAD DE LOS MATERIALES.—Que la frecuentación influye en el desgaste, variando ambos en el mismo sentido, á igualdad de las demás circunstancias, es hecho fuera de duda y por todos reconocido. Dupuit sostiene que el desgaste es proporcional á la frecuentación expresada en *colleras*; pero esta hipótesis la combaten muchos Ingenieros, fundándose en razones muy sólidas. En primer lugar, si la ley fuese exacta, en carreteras de escasísimo tráfico apenas se necesitaría emplear materiales, y, sin embargo, la práctica enseña que no es así, y que bastan las influencias atmosféricas para producir desperfectos que sólo se corrigen bacheando. En segundo lugar, con excelente criterio dice Gasparin (1) que el simple enunciado de que, con arre-

(1) Memoria publicada en 1853 en los *Anales de Puentes y Calzadas*.

glo á la proporcionalidad, lo mismo costaría conservar un firme sometido á una circulación de 500 colleras, que diez firmes iguales de un tránsito de 50 colleras cada uno, hace comprender que la base de que se ha partido es errónea. El desgaste, añade el mismo Ingeniero, está íntimamente ligado con el ancho de la carretera: es muy grande cuando todos los vehículos tienen que seguir el mismo carril, y, por el contrario, disminuye mucho cuando hay espacio para que la rodadura se efectúe en todos sentidos. En suma, parece que la ley, que podrá aproximarse á la verdad para circulaciones medias, se separa bastante en caminos de frecuentación exigua ó muy considerable. En estos últimos, el desgaste crece con más rapidez que el tráfico, citándose ejemplos en que aquél se ha sextuplicado al triplicarse éste.

Á pesar de todo, es común seguir la teoría de proporcionalidad defendida por Dupuit, que propuso deducir el desgaste multiplicando la frecuentación diaria, f , valuada en centenares de colleras, por la *calidad*, c , del material, dando este nombre al desgaste anual ocasionado por la piedra que se considere, en un kilómetro de carretera y para 100 colleras diarias de frecuentación. Se tendrá, pues,

$$d = fc \dots (2),$$

lo que es claro á todas luces, si se admite el principio. Pero es preciso ver el modo de conocer los dos factores del segundo miembro.

Determinación de la frecuentación.—En Francia se hacen trabajos estadísticos cada cinco ó seis años con este objeto: en España se ha intentado una vez, pero en malas condiciones, y sin obtener resultados dignos de mención. Desde luego hay que convenir en lo complejo del problema, por la diversidad de motores y vehículos que transitan por un camino, de las cargas que arrastran, de las velocidades á que marchan, y de otras muchas circunstancias que obligan á aplicar coeficientes arbitrarios á las agrupaciones que resultan de los recuentos, á fin de reducirlas todas á una misma unidad, la *collera*, que es el animal que tira de un vehículo pesado con carga ó de un carruaje público destinado á transporte de viajeros.

Para facilitar los trabajos y disminuir las causas de error, se ha reducido lo posible el número de grupos en los últimos censos hechos en Francia. Á continuación se expresan las categorías y los coeficientes admitidos para la reducción á colleras (1):

	<u>Coefficientes.</u>	
Animales de tiro. {	En vehículos cargados de productos ó mercancías.....	1
	En íd. públicos para transporte de viajeros. }	
	En íd. vacíos y coches particulares.....	$\frac{1}{2}$
Caballerías sueltas ó cargadas á lomo.....	$\frac{1}{2}$	
Cabezas de ganado menor.....	$\frac{1}{20}$	

Se indicará el sistema que se sigue ordinariamente para los recuentos periódicos. Las observaciones se confían, por lo general, á peones camineros escogidos, á los que se provee de impresos, con las casillas necesarias para hacer en cada una, con la punta de un alfiler ó con lápiz, las anotaciones que correspondan á los puntos de estación. Estos últimos se situaron en Francia, para el censo de 1888, á distancias medias de unos 7 kilómetros, y se eligen con cuidado, de suerte que el tránsito por uno cualquiera venga á ser el medio del trozo en cuyo centro se encuentra: la elección es muy difícil, aunque algo la simplifican los caminos afluentes á la carretera, que debe procurarse sirvan de límites á las secciones.

Los trabajos estadísticos duran un año; pero no se toman apuntes, á fin de aminorar los gastos, más que cada trece ó diez y siete días, de modo que se tengan 28 ó 21 recuentos en todo el período: para el censo de 1888 se practicaron 28. Se cuida de variar el día de la semana en que se efectúan, con objeto de que no ejerzan influencia sensible las costumbres locales, como mercados, fiestas, servicios intermitentes, etc. Cada recuento dura veinticuatro horas, excepto en las carreteras de circulación nocturna muy pequeña, para las cuales sólo se hacen una ó dos observaciones por trimestre, durante la noche: en este último caso se admite que la circulación media total es igual á la suma de las medias de las dos series de observaciones, diurnas y nocturnas.

(1) *Recensement de la circulation en 1888*: París, 1890.

La valuación del tránsito en toneladas transportadas, daría idea más cabal de su importancia y hasta permitiría adoptar con menos restricciones la proporcionalidad del desgaste á la frecuentación. Pero como no existe ningún medio práctico de pesar los vehículos y animales que pasan por una carretera, hay que acudir, como se hace en Francia, á fijar coeficientes arbitrarios para elementos tan circunstanciales como las cargas y pesos, partiendo del número de colleras para el cálculo del tráfico en toneladas. Tal sistema no puede inspirar confianza, pues que lejos de disminuir los errores inherentes á los recuentos, se acrecen considerablemente al hacer entrar nuevos factores, cuya inexactitud es notoria.

Determinación de la calidad de los materiales.—Puede ocurrir: 1.º, que el material se haya empleado en otras carreteras semejantes, cuyas condiciones sean bien conocidas; y 2.º, que se trate de material nuevo ó que no se haya sometido á ensayos previos.

En el primer caso, se conocerán el desgaste, d' , y la frecuentación media, f' , en otra carretera próxima; y por consiguiente, en virtud de la fórmula (2) (pág. 244), y admitiendo siempre la teoría de Dupuit, se tendrá:

$$d' = f'c, \quad c = \frac{d'}{f'} \quad \text{y} \quad d = \frac{f}{f'} d'.$$

Si no puede efectuarse la comparación con otros firmes, acostúmbrase en Francia á dar á c un valor medio, producto de numerosas observaciones, pero que forzosamente ha de ser inexacto, no sólo por las diferencias que existen entre unos materiales y otros, sino por la influencia marcada de las clases de vehículos que circulen. El Gobierno dispuso, en 6 de Junio de 1850, al establecer la fórmula para el reparto de créditos de conservación, que se hiciese provisionalmente $c = 40$, cuando se careciese de ensayos directos; Dupuit fijó el núm. 50 para materiales ordinarios de buena calidad, y de los experimentos hechos por Muntz en 1842 resultó que c habría de variar entre 50 y 55. Estos guarismos deben acogerse con mucha desconfianza por las causas indicadas: con material de condiciones corrientes, el desgaste por año,

kilómetro y frecuentación de 100 colleras, oscila entre 25 y 100 metros cúbicos, correspondiendo los límites á tránsito exclusivo de carruajes ligeros ó de carga, respectivamente.

En 1879 se ensayó con mal éxito en todos los departamentos de Francia la determinación de la calidad de los materiales, construyendo cerca de la residencia de los Ingenieros una pequeña longitud de firme con la piedra que se quería ensayar, midiendo directamente el desgaste y haciendo observaciones para apreciar la circulación. Se comprende que los resultados, aparte de caros, no fuesen satisfactorios, porque ni una carretera recién construída está en igualdad de condiciones que las antiguas, ni es posible tener en cuenta elementos de tanta monta como pendientes, orientación, etc., etc. Se han ideado también procedimientos de laboratorio para deducir el desgaste de las piedras, ninguno de los cuales ha prosperado, por la imposibilidad de colocar el material en circunstancias ni siquiera análogas á las en que se encuentra en la práctica.

Expresión general de los gastos.—De todo lo dicho se desprende: 1.º, que para determinar el desgaste no hay más que un método, la medición directa, que pueda ofrecer algunas garantías; 2.º, que de los procedimientos descritos, el de cubicación del firme es el más exacto; 3.º, que sólo para circunstancias medias cabe admitir la proporcionalidad del desgaste al tránsito; 4.º, que en algunos países, como Francia, en que se hacen censos periódicos del movimiento y en que se conoce la calidad de la mayor parte de los materiales empleados en firmes, puede ser útil la determinación indirecta del desgaste (1).

En suma, la fórmula (1) (pág. 240) es la que conviene aceptar

(1) Conviene saber que hoy día es corriente en Francia no llamar *calidad* del material al desgaste anual, por kilómetro y 100 colleras, como hacía Dupuit, sino á un número abstracto que varía de 0 á 20, y que es mayor á medida que crecen las resistencias de las piedras al aplastamiento y al roce. Se admite que los mejores materiales, los que tienen 20 por coeficiente, producen un desgaste de 15 metros cúbicos, referido á las mismas unidades antes indicadas. Llamando q al coeficiente, la relación que existe entre él y c será: $\frac{c}{15} = \frac{20}{q}$ ó $c = \frac{300}{q}$.

para el avalúo de la conservación del firme, si bien, en ciertos casos, puede reemplazarse con la siguiente:

$$g = fc \left[p + (n + n') j \right].$$

Pero para tener en cuenta todos los elementos de gasto hay que considerar los relativos á conservación de obras de tierra y fábrica y á vigilancia y administración.

La conservación de obras de tierra depende algo de la frecuentación, pero sobre todo de las condiciones del clima y del suelo: se representan los dispendios en cada zona por cierto número, N , de jornales de peón, por año y kilómetro. El coste originado por las obras de arte, A , es muy variable de una á otra carretera, según el número de aquéllas, sus luces y alturas, las circunstancias de los cauces, etc., etc.: sólo la práctica permite fijarlo en cada caso.

Los gastos generales y de vigilancia, I , se deducen con sencillez, dada la organización administrativa que se adopte. Por lo general, de todos los sumandos que abrazan, el más importante es el referente á la parte alicuota del sueldo del capataz, que debe cargarse á cada kilómetro. Hay que agregar también las indemnizaciones del personal facultativo, haberes de agentes temporeros, reposición de herramientas, cierto material de oficina, etc.

Conglobando los gastos de toda especie, se llega á la siguiente fórmula, que da el gasto total, G , por año y kilómetro, para la conservación de una carretera por el método de bacheos:

$$G = d \left[p + (n + n') j \right] + Nj + A + I \quad (3),$$

$$\text{ó} \quad G = fc \left[p + (n + n') j \right] + Nj + A + I \quad (4).$$

Esta última es, en esencia, la admitida por el Gobierno francés, en 6 de Junio de 1850, para el reparto de créditos de conservación, advirtiendo que cuando no existan experimentos directos se hagan $c = 40$, $n + n' = 2$ y $Nj + A = 40 j$, siendo entonces la expresión:

$$G = 40 f (p + 2j) + 40 j + I.$$

Manifiesta Durand-Claye, en su obra publicada en 1885, que en los seis años anteriores, los términos medios obtenidos para algunos de dichos coeficientes, en la conservación de carreteras nacionales, fueron: $n = 0,97$, $n' = 0,79$, $N = 42,5$.¹

Se ha procurado poner de relieve las deficiencias de las fórmulas (3) y (4), así como también las graves dificultades que presenta la determinación de algunos coeficientes; pero todavía se insistirá en este asunto. Hay ciertos elementos en las fórmulas que no se pueden reducir, á lo menos sin perjuicio del capital representado por la carretera, y en tal caso se encuentran d y A ; otros, como p y j , que los imponen las circunstancias de localidad; y, por último, n , n' , N é I , son susceptibles de disminución dentro de ciertos límites, pero empeorando las condiciones de viabilidad. Si no se bachea con esmero, bajará n ; si se bache poco ó nada, el valor de n' experimentará reducción notable; si se conservan mal las obras de tierra, se aminorará N ; una vigilancia insuficiente hará bajar el término I ; mas no hay que perder de vista que tales economías son ilusorias, y que en último resultado se pagan caras por el país ó el Estado, ya por el exceso de gastos con que se grava á la tracción, ya por los reparos costosos que á la larga requieren las carreteras.

Otra observación importante. Los factores y sumandos de las fórmulas no son independientes entre sí: algunos de ellos están ligados por relaciones que no hay medio de expresar, de suerte que no cabe atribuir valor absoluto á los números que se deduzcan. Así, por ejemplo, d es función de n , y ambas varían en sentido inverso, porque: 1.º, á medida que el desgaste es mayor, se necesitan más acopios, los montones tienen que estar muy próximos, y se rebaja uno de los elementos más importantes de n , el transporte de la piedra desde los paseos á los baches; 2.º, cuando el material se emplea con gran esmero, es decir, cuando n es relativamente grande, el desgaste se reduce. También d es función de n' y de I , puesto que, según se barra y desenlode, disminuirán ó crecerán los detritos, no pudiendo tampoco desconocerse la influencia de una buena administración en la economía de material.

Aplicaciones de las teorías precedentes.—De poder-

se admitir los principios de Dupuit, aparte de los gastos, se conocerían, hasta cierto punto, otros elementos interesantes. Tales son la longitud de los trozos que deben encomendarse á los peones camineros, y el resultado económico de emplear piedra mejor que la de la localidad, aunque más cara.

LONGITUD DEL TROZO Á CARGO DE UN PEÓN.—Siendo $d = fc$ el desgaste por kilómetro, si se representa por x la longitud del trozo, expresada en aquella unidad, el volumen que tendrá que emplear el peón, además de extraer los detritos correspondientes, será fcx . El número de jornales que requiere cada metro cúbico se ha representado por $n + n'$; de suerte que, admitiendo trescientos días laborables al año, el caminero podrá, en igual período, ejecutar las faenas de conservación en $\frac{300}{n + n'}$ metros cúbicos, cantidad que habrá de equivaler á fcx . Por tanto,

$$fcx = \frac{300}{n + n'} \quad \text{ó} \quad x = \frac{300}{fc(n + n')}$$

Según se admita para $n + n'$ el valor 2 que le señala la circular francesa, ó el 1,76 consignado por Durand-Claye, resultará:

$$x = \frac{150}{fc} = \frac{150}{d} \quad \text{ó} \quad x = \frac{170}{fc} = \frac{170}{d}$$

Aun aceptando como bueno el principio, estas expresiones no serían correctas, porque suponen que las limpiezas y bacheos se repartan con uniformidad, hipótesis muy distante de lo que en la práctica acontece. Dan, no obstante, indicaciones útiles, que la experiencia se encarga de corregir, siempre que se vigilen sin cesar los trabajos de los peones y se estudien á conciencia los resultados obtenidos y las circunstancias especiales de cada trozo.

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE DIVERSOS MATERIALES.—Se ha visto que el gasto de conservación del firme por año, kilómetro y frecuentación de 100 colleras es $c [p + (n + n') j]$ ó próximamente $c (p + 3)$, haciendo $n + n' = 1,76$ y $j = 1,75$. Supónganse dos materiales distintos, uno flojo y barato, para el cual $c = 100$ y $p = 2$, y otro duro y mucho más costoso, en que, por

ejemplo, $c = 50$ y $p = 6$: el primero exigirá un gasto anual y kilométrico de $100 \times 5 = 500$ pesetas; el segundo, $50 \times 9 = 450$. Por manera que la piedra dura, aunque de triple precio al pie de obra que la blanda, realizará una economía de 50 pesetas al año. No hay para qué decir que estos guarismos carecen de rigor absoluto; pero enseñan cuán infundados son á veces los temores de los Ingenieros de proponer el acopio de material bueno, creyendo que las distancias de transporte influyen de manera decisiva en los gastos totales de conservación (1).

Otras fórmulas propuestas para valuar los gastos.—Por más que dejen bastante que desear las que se han discutido, no se examinarán las propuestas por diversos Ingenieros: unas, como las de Monnet, por referirse á sistemas especiales de bacheos, que no se usan por su excesivo coste, á pesar de la economía que sus inventores les atribuyen; otras, como la de Gasparin, porque sobre partir de supuestos aventurados y exigir ensayos prolijos y difíciles de ejecutar, no inspiran más confianza que las basadas en las leyes de Dupuit (2).

II.—CARRETERAS CONSERVADAS POR RECARGOS.

Determinación de la fórmula general.—Ciñéndose á las consideraciones expuestas en el artículo que precede, no hay dificultad alguna para deducir las fórmulas. Si se llama G el gasto medio anual de la conservación de un kilómetro; G' el coste de un recargo; x el número de años ó período entre dos consecutivos,

(1) El Sr. Carrau, Ingeniero de Puentes y Calzadas, ha propuesto una fórmula para deducir la distancia límite á que conviene llevar los materiales de conservación de dos canteras diferentes, para resolver el problema económico en toda su generalidad. En la expresión admitida por él entran, como es natural, las calidades respectivas de los materiales, números difíciles de obtener, según se ha visto, y más aún en España en que se carece de estadísticas de circulación. Por este motivo no se expone el sistema, cuya descripción puede verse en los *Anales de Puentes y Calzadas* (Octubre de 1891).

(2) Á pesar de todo, la Memoria de Gasparin, publicada, como ya se ha dicho, en 1853, en los *Anales de Puentes y Calzadas*, es muy notable y merece consultarse.

y G'' el gasto anual para mantener la tersura de la superficie, conservar las obras de tierra, accesorias y de fábrica y sufragar la vigilancia y administración, es evidente que

$$G = \frac{G'}{x} + G' \quad (5).$$

El coste de un recargo dependerá: de su volumen, V' ; del precio p del metro cúbico de material al pie de obra, y del gasto medio de empleo, p' , referido á aquella unidad é incluyendo el cilindrado y riego. Claro es que

$$G' = V' (p + p') \quad (6).$$

G'' se deducirá por la fórmula (3) (pág. 248), reemplazando d con el volumen V'' que sea indispensable emplear al año para que la superficie se mantenga tersa y unida (1), y será

$$G'' = V'' [p + (n + n')j] + Nj + A + I \quad (7),$$

teniendo todas las letras la significación conocida.

De las igualdades (5), (6) y (7), se obtiene:

$$G = \frac{V' (p + p')}{x} + V'' [p + (n + n')j] + Nj + A + I \quad (8).$$

Ahora bien: si se representa por V el volumen *medio* por año, que se ha de emplear en la conservación de un kilómetro, se tendrá:

$$V = \frac{V'}{x} + V'' \quad \text{y} \quad x = \frac{V'}{V - V''},$$

y sustituyendo en (8), resulta la fórmula:

$$G = (V - V'') (p + p') + V'' [p + (n + n')j] + Nj + A + I.$$

Con las salvedades que en páginas anteriores se han expuesto, pueden determinarse en cada caso p , j , n , n' , N , A é I : sólo

(1) Recuérdese que para que los términos sean homogéneos, es indispensable que los volúmenes V' , V'' , y los que luego aparecerán, se refieran todos á firme compacto ó á piedra partida.

hay que entrar en algunos pormenores respecto á V , V'' y p' .

VALOR DE V .—El procedimiento de recargos no difiere del de bacheos sino en la manera de reponer el desgaste, de suerte que es lógico admitir que el volumen medio de material consumido, cuando se emplea aquél, sea idéntico al anual correspondiente al segundo sistema, es decir, que $V = d$.

Ya se dijo (págs. 211 y 212) que por pretender algunos Ingenieros que el uso de recebo es peculiar de la conservación por recargos, siendo así que conviene agregarlo del mismo modo en los bacheos, opinan que el valor de V ha de ser notablemente inferior al de d . Graeff admite que $V = 0,9 d$; pero ni siquiera esta reducción debe aceptarse, porque, según se expresó al comparar los dos sistemas de conservar los afirmados, el pequeño aumento de d con relación á V , motivado por las piedras que se aplastan por los cascos de caballerías ó ruedas de vehículos, es tan pequeño, si el servicio se organiza bien, que no merece tenerse en cuenta.

VALOR DE V'' .—El material necesario para hacer los bacheos que requiere la conservación de la tersura de la superficie, puede deducirse experimentalmente en 2 ó 3 kilómetros de carretera, llevando cuenta minuciosa de la piedra que se gasta entre dos recargos sucesivos y teniendo cuidado de no hacer ningún bacheo con objeto de restituir espesor. Si se divide el volumen invertido por el número de años y el de kilómetros, quedará determinado el guarismo que se busca.

En el caso frecuente de no practicar ensayos previos, se puede tener seguridad, aun en carreteras cuya frecuentación varíe entre 300 y 600 colleras, de pecar por exceso haciendo $V'' = 30$ metros cúbicos, por año y kilómetro (1).

VALOR DE p' .—El precio del empleo del metro cúbico de piedra se conocerá por el resultado que se haya obtenido, en circunstancias análogas, en obras por administración, ó por lo abonado á los contratistas, aumentando, para el cálculo, á los precios de presupuesto el 15 por 100 que prescriben los formularios (2), y reduciendo la suma en la cantidad proporcional que corresponda,

(1) Debaue, *Routes*.

(2) Véanse los formularios en el Apéndice núm. 1.

con arreglo á la baja obtenida en la subasta. Por último, si no hubiera antecedentes de obras semejantes, se deducirá el precio, calculando el valor de cada uno de estos elementos:

Recebo al pie de obra.

Preparación de la superficie sobre que se ha de tender el recargo.

Extensión y arreglo de materiales.

Riego.

Cilindrado.

Gastos de conservación del cilindro é intereses y amortización del capital que representa.

Gastos generales, de vigilancia, etc.

Periodo entre dos recargos. — Teóricamente se deduce por la fórmula

$$x = \frac{V'}{V - V''}$$

Los dos términos del denominador se suponen conocidos, con sujeción á lo expuesto en los párrafos anteriores, y V' se calcula sin dificultad, sabiendo la anchura del firme y el espesor del recargo.

Como quiera que la determinación de V y V'' no puede hacerse sino con cierta aproximación y en virtud de ensayos largos y prolijos, no es necesario insistir en que la fórmula carece de utilidad práctica, y que sólo la experiencia servirá de guía para escalonar convenientemente en cada caso los recargos generales de los firmes que se conserven por este sistema.

III.—GASTOS DE CONSERVACIÓN Y REPARO DE LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS.

Datos estadísticos.—Se consignarán los deducidos de la *Memoria de Obras públicas*, dada á luz en 1890, que abraza los relativos á las carreteras del Estado en 1889; pero para que se comprenda cómo se han calculado los términos medios, hay que hacer una advertencia. Aquel documento oficial establece el debido deslinde entre gastos de conservación y de reparos, y con este último dictado se conocen, por lo común, en España los recargos genera-

les de firmes, que en realidad son trabajos de conservación, pues que, según repetidamente se ha dicho, constituyen uno de los métodos de restituir el volumen del material desgastado. Por desgracia, en nuestro país no se presta la atención sostenida que reclama á este importantísimo ramo de la administración, y no se acostumbra establecer de manera clara y terminante el sistema que se adopta para mantener el capital que representa el firme: casi siempre se procede por bacheos, y la carretera se considera en estado de conservación mientras el espesor no experimente variaciones de entidad; mas si por insuficiencia del material empleado ó por cualesquiera otras causas, se reduce el volumen de afirmado hasta límites que no permitan se verifique el tránsito en buenas condiciones, se recarga la calzada, dando el nombre de *reparación* á la obra que se ejecuta. Estas indicaciones justifican que se haya agregado á los gastos que figuran en los cuadros oficiales, en concepto de conservación, el importe de las reparaciones, si bien prescindiendo del de aquéllas que no se refieren al firme, sino á obras de fábrica, ensanches, etc., etc.

En el estado siguiente aparecen las longitudes de las carreteras de primero, segundo y tercer orden, que se conservaron en 1889; los gastos que produjeron, los términos medios por kilómetro y la media general para toda la red.

GASTOS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN 1889.

Orden de las carreteras.	Longitud. — Kilómetros.	Gastos. — Pesetas.	Gasto medio por kilómetro. — Pesetas.
1. ^o	6.860	4.767.430	695
2. ^o	8.703	5.299.016	609
3. ^o	11.759	6.051.721	515
Totales y gasto medio general.	27.322 (1)	16.118.167	590

(1) Este número difiere algo del consignado en la página 12, sin duda por errores cometidos en el documento oficial.

Claro es que los términos medios por provincias oscilan entre números bastante separados y en armonía con las circunstancias locales y el desarrollo del tráfico. Así en el año expresado, se elevó el gasto medio á 1.123 pesetas por kilómetro en las carreteras de la provincia de Barcelona, y sólo fué de 402 en las de Teruel.

Comparación de los gastos medios en España, Francia é Italia.—El gasto medio de conservación de carreteras afirmadas con piedra partida ascendió en Francia, en 1882 y 1883, á la cantidad de 454 pesetas por año y kilómetro (1). Sin duda se va aquilatando más y más la organización administrativa, pues en 1871 el término medio subía á 499 pesetas (2), habiéndose realizado en doce años una economía de 9 por 100 en el coste kilométrico, á pesar de que en ese período ha adquirido el tráfico aumentos de consideración, por el vuelo que han tomado los intereses materiales en la República vecina, desde que se repuso de los desastres de 1870 (3). Y aun es de notar que un

(1) Durand-Claye, *Routes*.

(2) Debaube, *Routes*.

(3) En comprobación de lo dicho, véanse los resultados medios de los siete últimos censos hechos en Francia:

Años.	Colleras diarias por kilómetro.
1851-52.....	244
1856-57.....	246
1863-64.....	237
1869.....	240
1876.....	207
1882.....	220
1888.....	241

Se ve claramente la disminución notable que acusó el primer censo después de la guerra y el aumento progresivo que ha experimentado luego. Conviene advertir que los números que se estampan en el cuadro se refieren al total de animales de tiro ó carga, sin aplicarles coeficientes de reducción, á causa de no haberse adoptado siempre los mismos. En el censo de 1888 el tráfico medio reducido ha resultado de 193 colleras.

También debe advertirse que, según varios Ingenieros, las economías

año después el gasto medio fuese sólo de 499 pesetas, si se considera que en las vías más frecuentadas, las del departamento del Sena, se elevaba el tipo á 4.247.

De todos modos, llamará la atención que en España, á pesar de que, por lo común, no están conservadas las carreteras con extraordinario esmero, se invierta, por kilómetro, mayor suma que en Francia, siendo la diferencia de bastante entidad (136 pesetas). Las razones de esta anomalía no pueden ser más que dos: 1.^ª, las condiciones climatológicas de todo el centro y mediodía de la Península, que impiden la conveniente trabazón de los materiales, obligando á multiplicar el volumen de piedra y la mano de obra, sin que se consiga, por mucho que sea el celo del personal, mantener los firmes con los requisitos que se exigen para que la tracción se efectúe suave y económicamente; 2.^ª, las deficiencias administrativas que se advierten en un servicio que ha de estar organizado con perfección suma, so pena de irrogar graves daños al público y al Tesoro. Tarea larga sería enumerar todo lo que debe corregirse y que no se remediará nunca sin la voluntad decidida de Gobiernos é Ingenieros: muchos defectos y negligencias se han señalado en páginas anteriores; muchos más pudieran puntualizarse, y entre ellos conviene consignar el retraso con que á veces se subastan los acopios, que ocasiona á menudo no tener material disponible para bachear en las épocas oportunas, lo cual lleva consigo el que los desperfectos revistan importancia y sea difícil y costoso hacerlos desaparecer.

La comparación de gastos de conservación en España é Italia se presta también á observaciones curiosas. El coste medio kilométrico de las carreteras nacionales italianas en el año económico de 1882-83 fué de 956 pesetas, cantidad crecidísima y que sólo cabe explicarla por el sistema defectuoso que se ha adoptado.

Al constituirse el nuevo reino de Italia, en cada región se se realizaron en los gastos de conservación se deben al mayor desarrollo que, en virtud de prescripciones oficiales, va adquiriendo el sistema de recargos. Durand-Claye, en su Memoria de 1891, manifiesta que en 1878 sólo se empleó este método en el 18 por 100 del volumen total de materiales, y que en 1883 subió la proporción al 39 por 100, sin contar la piedra invertida en verdaderas reparaciones.

guían procedimientos diversos, que se han ido uniformando poco á poco, hasta venir á parar á la Instrucción aprobada en 1870, por la que se prescribe que las obras de conservación de caminos se dividan en dos grupos, contratándose respectivamente por tanto alzado y por unidades. Se adopta el primer sistema para limpia de detritos, obras de tierra y de fábrica de escasa importancia y casi todas las accesorias; el segundo, para acopio y empleo de materiales y para obras de tierra y arte que no se clasifiquen en la anterior categoría. Los peones camineros, aunque agentes en realidad de los contratistas, son nombrados por la Administración, contribuyendo aquéllos á su pago en la proporción de 75 por 100. El método someramente reseñado es inadmisibile: los trabajos de conservación de carreteras, exceptuando los relativos á acopio de materiales y empleo de los mismos en recargos, no se prestan, por la vigilancia asidua que requieren y por su propia indeterminación, á ser objeto de contratos, y así se ha reconocido en todas partes, incluso en España, á pesar de haber algunos Ingenieros, aunque pocos, que todavía defienden el procedimiento. No estará de más transcribir las palabras de Cantalupi sobre este asunto:

«No tenemos datos suficientes para deducir si tal sistema será conveniente en todas las provincias de Italia para lograr buena vialidad y prudente economía: lo que sí puede asegurarse es que en ciertas provincias de Lombardía ha dado resultados lamentables, á causa de que los contratistas, por tolerancia ó lenidad de los Ingenieros, dejan de ejecutar todas las obras presupuestas en tanto fijo y encuentran medio de que se les abone aparte. Aunque á primera vista pudiera parecer favorable la comunidad de intereses, la experiencia ha demostrado que perjudica á la Administración, á la par que al tráfico, por los abusos á que se presta, como hemos tenido ocasión de observar. Con efecto, ajustándose alzadoamente la limpia de detritos y la desaparición de surcos, los contratistas acuden á toda clase de subterfugios para burlar la vigilancia de los agentes técnicos y substraerse al cumplimiento de sus obligaciones, ó por lo menos ejecutan los trabajos con notoria imperfección, dando margen á mayores deterioros en la plataforma.

»Ahora bien: como dichos deterioros exigen para su reparo volúmenes considerables de piedra, cuyo acopio ofrece siempre ventajas al contratista, consigue éste, en suma, economizar la mano de obra, que tiene deber de suministrar, y emplear mayor volumen de materiales.

»Por estos motivos y otros muchos que omitimos en obsequio á la concisión, mientras que la vialidad por las carreteras deja bastante que de-

sear, se perjudica notablemente al Tesoro público. El sistema, por tanto, se presta á objeciones muy serias y no se puede aplicar sin graves dificultades.»

Bastará añadir á lo preinserto que, sobre pecar de ineficaces, costaron la dirección y vigilancia por kilómetro, en el año citado de 1882-83, y por término medio, la enorme suma de 245^{ptas},50.

En la propia Italia se han ensayado en estos últimos años procedimientos iguales en esencia á los que se siguen en Francia y España, logrando resultados satisfactorios, bajo los aspectos económico y técnico. Las pruebas más concluyentes se realizaron de 1873 á 1881 por el Ingeniero Casari en los caminos provinciales de Novara, y por Sacchi en los vecinales de Padua.

Resumiendo: debe proscribirse el método de contratación para conservar carreteras, aplicándolo tan sólo al acopio y transporte de materiales, al machaqueo de las piedras y á lo más á la ejecución de recargos. Este sistema, sancionado en Francia, donde con tanto interés se han discutido y ensayado hasta los trabajos de menor entidad que reclaman los caminos, es el que también se ha adoptado en España. Nada hay que objetar en nuestro país respecto á la organización general: lo que falta, según se ha manifestado repetidas veces, es mayor asiduidad por parte de los agentes facultativos, y que la mayoría de los Ingenieros cese de mirar con injustificado desdén esta rama del servicio, la que más títulos puede darles, como con sano criterio decía Dupuit, á la consideración social.

Se terminará esta sección, reseñando las diferentes categorías del personal afecto en España á la conservación y reparo de carreteras, así como los principales preceptos administrativos que están hoy en vigor.

CAPÍTULO V.

ORGANIZACIÓN EN ESPAÑA DEL SERVICIO DE CONSERVACIÓN.

I.—PERSONAL.

Peones camineros y capataces.—Los peones camineros se instituyeron en España en 1794. Su organización ha sufrido