

Aforos del Duero y sus afluentes Esla y Tormes⁽¹⁾

II

TRABAJOS REALIZADOS

PERSONAL DEL SERVICIO DE AFOROS.—Descritas en mi artículo anterior las instalaciones del servicio de aforos de la Sociedad Hispanoportuguesa de Transportes Eléctricos, voy a detallar en éste los trabajos que en dicho servicio se realizan para llegar al fin que se propone la citada Sociedad, comenzando por indicar el *personal* con que cuenta para ello.

Como las estaciones de aforo números 1, 2, 3 y 4, que se hallan en servicio normal, están en la provincia de Zamora, en esta capital residen *un aforador* y *un auxiliar*, que tienen como misión principal hacer un aforo semanal en cada una de las estaciones de Villachica, Bretó, Vegalatrave y Muelas, para lo cual se ha establecido un ciclo que, actualmente, es el siguiente:

- Martes: aforo del Esla en Bretó.
- Jueves: aforo del Aliste en Vegalatrave.
- Viernes: aforo del Esla en Muelas.
- Sábado: aforo del Duero en Villachica.

El día que se realiza el aforo en cada estación, el aforador cambia también la hoja del limnógrafo y, además, recoge los datos de alturas del agua tomados durante la semana por el *lector de escala*.

Los viajes desde Zamora a las estaciones de aforo los hacen utilizando el tren en el recorrido Zamora-La Tabla y regreso, para el aforo del Esla en Bretó; los automóviles del servicio público a Alcañices en el recorrido Zamora-Ionfría y regreso a Muelas, para el aforo del Aliste en Vegalatrave, y el automóvil o el cochecito de la misma Sociedad en el recorrido Zamora-Muelas y regreso, y Zamora-Villachica y regreso, para los aforos del Esla en Muelas y del Duero en Villachica. Los recorridos de La Tabla a la esta-

ción núm. 2 y de Ionfría a la estación núm. 3, se hacen en carros o caballerías, según las circunstancias. El aforador lleva consigo el molinete y accesorios para aforar.

Las estaciones números 1 y 2 están, cada una, bajo la vigilancia de *un lector de escala*, que tiene la misión de anotar diariamente, y siempre a la misma hora, la altura del agua marcada por el limnómetro, siendo también obligación suya inspeccionar a diario los elementos de la estación e informar inmediatamente al aforador de cuantas anomalías observe. En estas dos estaciones, además del lector, hay *un guarda* encargado de la vigilancia y conservación del barco, el que debe ser amarrado en diferentes puntos de la orilla del río según el nivel de éste. Los aforos en estas dos estaciones se hacen por el aforador y su auxiliar.

En la estación de aforo núm. 3 o de Vegalatrave hay *un lector de escala*, y el aforo del Aliste se hace por el aforador y *otro auxiliar* que reside en el pueblo de Vegalatrave, en tanto que en la estación de aforo núm. 4, o de Muelas solamente, hay *un lector de escala* que tiene a su cargo, además, el cuidado y vigilancia del barco y que auxilia también al aforador cuando éste realiza el aforo del Esla en esta estación.

Finalmente, la Sociedad ha tomado a su cargo la escala del Estado establecida sobre el Esla, en el puente de Ricobayo, de la carretera de Zamora a Alcañices, teniendo para ésta *un lector*, encargado de hacer las correspondientes observaciones.

SERVICIO HECHO EN LAS ESTACIONES HASTA EL 30 DE SEPTIEMBRE DE 1925.—Con el personal indicado y bajo la inmediata dirección del que suscribe, auxiliado por el personal subalterno de la Delegación de Salamanca de la Sociedad Hispanoportuguesa de Transportes Eléctricos, se ha realizado, hasta ahora, en las cuatro estaciones de aforo que están en funcionamiento normal, el servicio que se detalla en el cuadro núm. 1 siguiente:

(1) Véase el número 2 441, página 513, de la REVISTA.

Cuadro núm. 1

SERVICIO HECHO EN LAS ESTACIONES DE AFORO

DESIGNACION	E. A. núm. 1	E. A. núm. 2	E. A. núm. 3	E. A. núm. 4
<i>Limnómetros</i>				
Fecha de la primera lectura de escalas.	20-X-1922	30-VII-1923	1-X-1923	9-IX-1922
<i>Limnógrafos</i>				
Fecha de su puesta en marcha.	15-XII-1922	2-VIII-1923	27-X-1923	12-VIII-1922
<i>Aforos</i>				
Fecha del primero realizado.	13-I-1923	8-VIII-1923	18-IX-1924	20-VIII-1922
Aforos hechos en el año....	{ 1922.	—	—	16
	{ 1923.	50	21	50
	{ 1924.	48	48	48
	{ 1925 (nueve meses) . . .	38	34	38

ESTACION DE AFOROS NUMERO 4 «MUELAS»
Rfo ESLA

Días	Altura según escala		Altura media diaria según limnigrafo	Número del aforo semanal	Observaciones
	Hora de la lectura	Altura			
1	15	3,515	3,510	5	Lluvia intensa.
2	12	3,505	3,463		
3	12	3,450	3,421		
4	14	3,370	3,390		
5	13	3,360	3,362		
6	14	3,330	3,340		
7	10	3,310	3,322		
8	11	3,310	3,310	6	
9	14	3,280	3,329		
10	14	3,675	3,657		
11	11	4,215	4,087		
12	11	3,965	4,018		
13	14	4,370	4,257		
14	12	4,630	4,529		
15	12	4,340	4,267	7	
16	13	4,045	4,010		
17	13	3,830	3,803		
18	14	3,700	3,717		
19	12	3,700	3,657		
20	12	3,520	3,610		
21	12	3,610	3,551		
22	14	3,650	3,606	8	
23	16	3,680	3,663		
24	10	3,650	3,590		
25	10	3,650	3,534		
26	10	3,545	3,501		
27	14	3,520	3,486		
28	10	3,520	3,458		
29	14	3,460	3,431	9	
29			105,879		

NOMENCLATURA

t = Lecturas en el reloj de segundos.

$$\Delta t = \text{Diferencias de lecturas} = t_2 - t_1.$$

$\Sigma \Delta t$ = Suma de las diferencias de lecturas.

N = Número de diferencias de lecturas.

T — Valor medio de $M = \frac{\sum M}{n}$.

— ¿Por medio de qué?

N

No formamos entre cada dos señales eléctricas

$$n = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de vueltas por segundo}}{\text{N}^{\circ} \text{ de vueltas entre cada } T}$$
[illegible]

Altura media mensual según línnígrafo: $\frac{105,879}{29} = 3,651 \text{ m.}$

Altura media máxima en el mes: 4,529 el día 14.....
Altura media mínima en el mes: 3,310 el día 8.....

Diferencia = 1,219 m.

Altura máxima registrada por el
limnógrafo: 4,730 a las cuatro
del día 14.....
Altura mínima registrada por el
limnógrafo: 3,305 varias horas
de los días 8 y 9.....

} Diferencia = 1,425 m.

AFOROS.—Se ejecutan por el aforador y un auxiliar, que miden las velocidades del agua en las diversas verticales del perfil de aforo. Si la anchura del río que se afora es pequeña, la distancia que se toma entre verticales es de un metro; pero si el río está alto y presenta gran anchura, como el aforo se haría muy largo, la distancia entre verticales se aumenta, teniendo cuidado de disminuirla en las partes de la sección de aforo en que la forma de su perfil aconseje hacerlo así para la mayor exactitud del aforo, pues ésta depende tanto de la precisión con que se ejecutan las operaciones como del cuidado que se ponga en obtener la sección de aforo, eligiéndose, por lo tanto, las verticales de modo que acusen bien las particularidades del perfil de aforo y la posición de la corriente mayor.

En cada vertical se determina primero la profundidad, descendiendo el molinete hasta que dé fondo, valiéndose para ello de la barra de deslizamiento o del cable de suspensión del molinete, que están graduados.

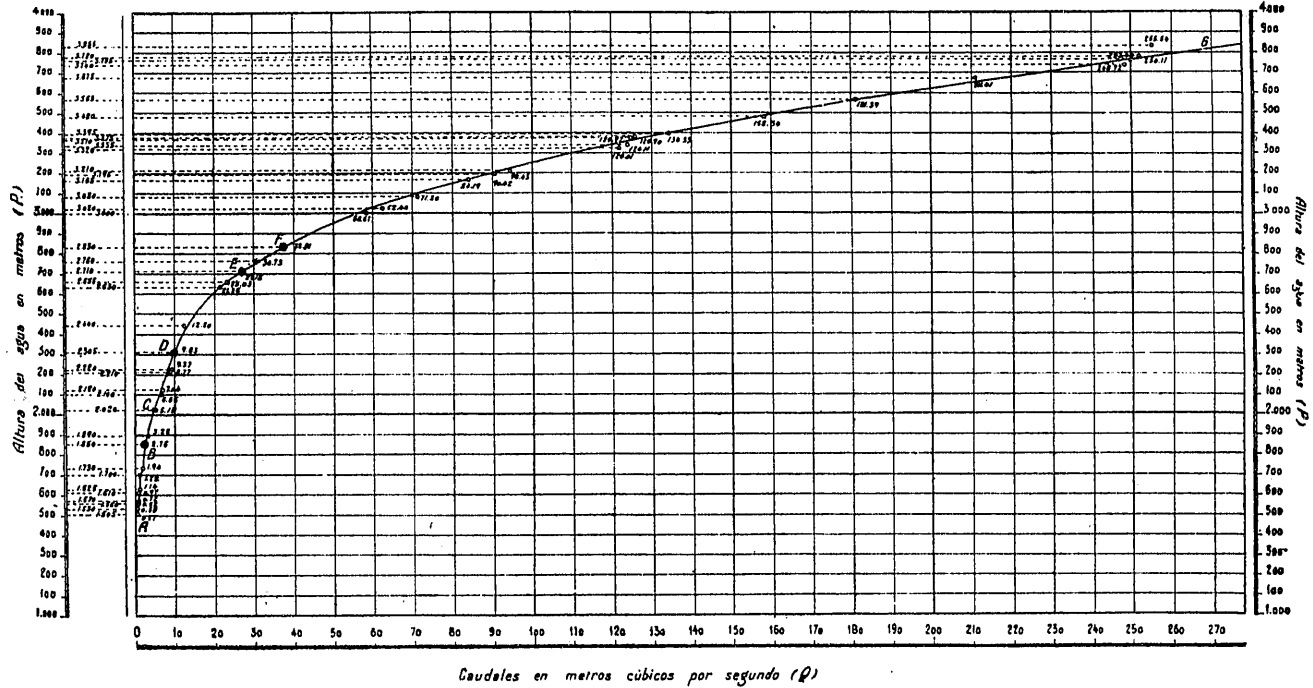
PROVINCIA DE

Estación de aforo núm.	Denominada	En el río
Fecha del aforo, de	de 19	
Molinete núm.	Hélice núm.	Radio mms, con señales eléctricas cada vueltas.

Auxiliar

Aforador

[illegible]



Fórmulas			
De $P = 1,505$ a $P = 1,530$: $Q = \frac{P - 0,08}{2,5}$	De $P = 1,610$ a $P = 1,625$: $Q = \frac{P - 1,5245}{0,0882}$	De $P = 1,850$ a $P = 2,020$: $Q = 18,4737P^2 - 56,9240P + 44,3973$	
De $P = 1,530$ a $P = 1,560$: $Q = \frac{P - 1,095}{0,75}$	De $P = 1,625$ a $P = 1,700$: $Q = \frac{P - 1,0143}{0,5357}$	De $P = 2,020$ a $P = 2,305$: $Q = \frac{P - 1,750}{0,0564662}$	
De $P = 1,560$ a $P = 1,570$: $Q = \frac{P - 1,498}{0,1}$	De $P = 1,700$ a $P = 1,730$: $Q = \frac{P - 1,6419}{0,0454}$	De $P = 2,305$ a $P = 2,710$: $(100P - 204)^2 + (2Q - 92,6)^2 = 5\,960,4896$	
De $P = 1,570$ a $P = 1,610$: $Q = \frac{P - 1,4548}{0,16}$	De $P = 1,730$ a $P = 1,850$: $Q = \frac{P - 1,1009}{0,3243}$	De $P = 2,710$ a $P = 2,830$: $Q = \frac{P - 2,400}{0,0114287}$	
		Desde $P = 2,830$: $Q = 149,0959P^2 - 756,3842P + 984,0828$	

Fig. 3.ª Curva de caudales del río Esla en la estación de aforo número 4.

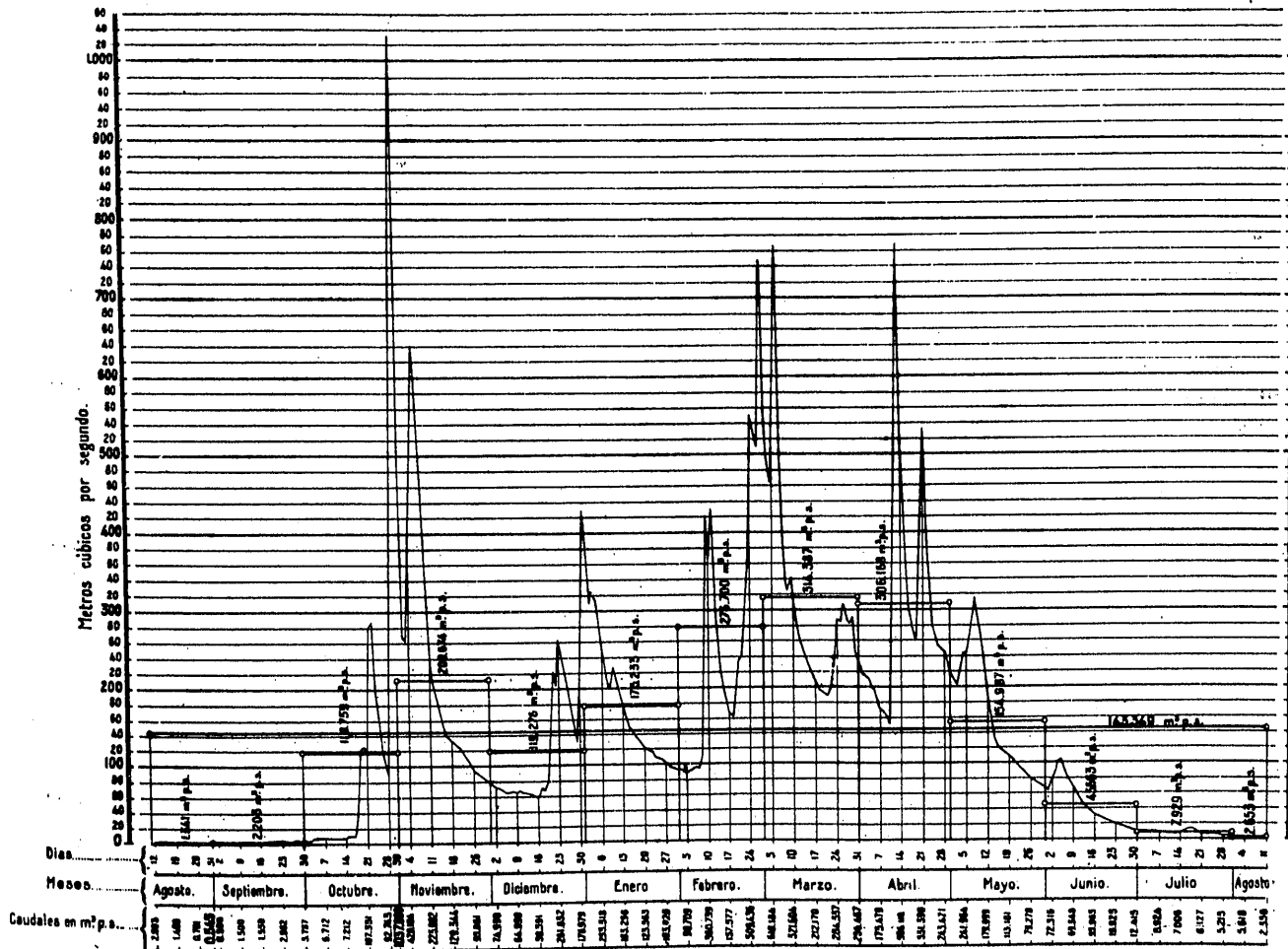


Fig. 4.ª Curva de caudales medios diarios del río Esla en la estación de aforo número 4, desde el 12 de agosto de 1922 a 11 de agosto de 1923.

función de alturas del agua. No siendo posible realizar un aforo para cada altura, y a fin de conocer el caudal que corresponda a una altura dada, se hace la compensación de los valores de los caudales aforados por el método de los menores cuadrados, buscando ecuaciones de curvas analíticas que pasen sensiblemente por los puntos obtenidos. Deducidas estas ecuaciones, a cada valor de la altura del agua corresponderá uno del caudal.

No me es posible entrar a detallar la forma de hacer estas compensaciones, pues varía con la sección de aforo y con el número de éstos. Indudablemente, cuanto mayor sea este número la compensación será más exacta. Generalmente, suele bastar una curva de compensación, que suele afectar la forma de una parábola en ríos de sección uniforme e igual. Sin embargo, en el Esla y estación de aforos núm. 4 (fig. 3.^a) ha sido preciso hacer la compensación por dos parábolas, *BC* y *FG*, de ecuaciones

$$Q = 18,4737P^2 - 56,9240P + 44,3973$$

y

$$Q = 149,0959P^2 - 756,3842P + 984,0828$$

enlazadas entre sí por el arco de circunferencia *DE*, cuya ecuación es

$$(100P - 204)^2 + (2Q - 92,6)^2 = 5\,960,4896$$

y sus tangentes comunes *CD* y *EF*.

Tales curvas se han adoptado después de varios tanteos y cumpliendo la condición de que los errores medios que resulten sean principalmente por defecto e inferiores a un cierto tanto por ciento. La parte correspondiente al estiaje no se ha compensado y se

han tomado entre los puntos de aforo las rectas que los unen.

CURVA DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS.—Mediante las fórmulas que acompañan a cada curva de caudales, se obtiene, para cada valor de la altura del agua *P*, el valor correspondiente del gasto o caudal *Q* en metros cúbicos por segundo, y haciendo esto para cada altura media diaria, se obtienen los gastos o caudales medios diarios, con cuyos datos se construyen las curvas de caudales medios diarios análogas a la representada en la figura 4.^a, que es del río Esla. En estas curvas se indican también los caudales mínimos, máximos, medios mensuales y medio anual.

CURVAS DE CAUDALES ACUMULADOS O CRONOLÓGICOS.—Si se multiplica el caudal medio diario por 86 400, número de segundos que tiene un día, se obtendrá la cantidad de agua que pasa por cada estación en veinticuatro horas, y si se van sumando estas cantidades desde el comienzo de las observaciones, iremos obteniendo las cantidades de agua que van pasando desde entonces. Operando en esta forma se dibujan las curvas de caudales acumulados o cronológicos, análogos a las de la figura 5.^a, que representa la del Esla en la estación de aforos núm. 4 y corresponde al primer año del servicio de aforos.

Estas curvas, juntamente con las de caudales medios diarios, dan el régimen del río y son las fundamentales para seguir sobre ellas el estudio de las cuestiones relacionadas con aquél.

CONSERVACIÓN DE LAS ESTACIONES.—Anualmente, y en la época del estiaje, se hace una revisión general detallada de todas las instalaciones, ejecutándose la reparación de cuantas deficiencias se notan y haciéndose los trabajos que requiere una buena conservación y entretenimiento de las estaciones de afo-

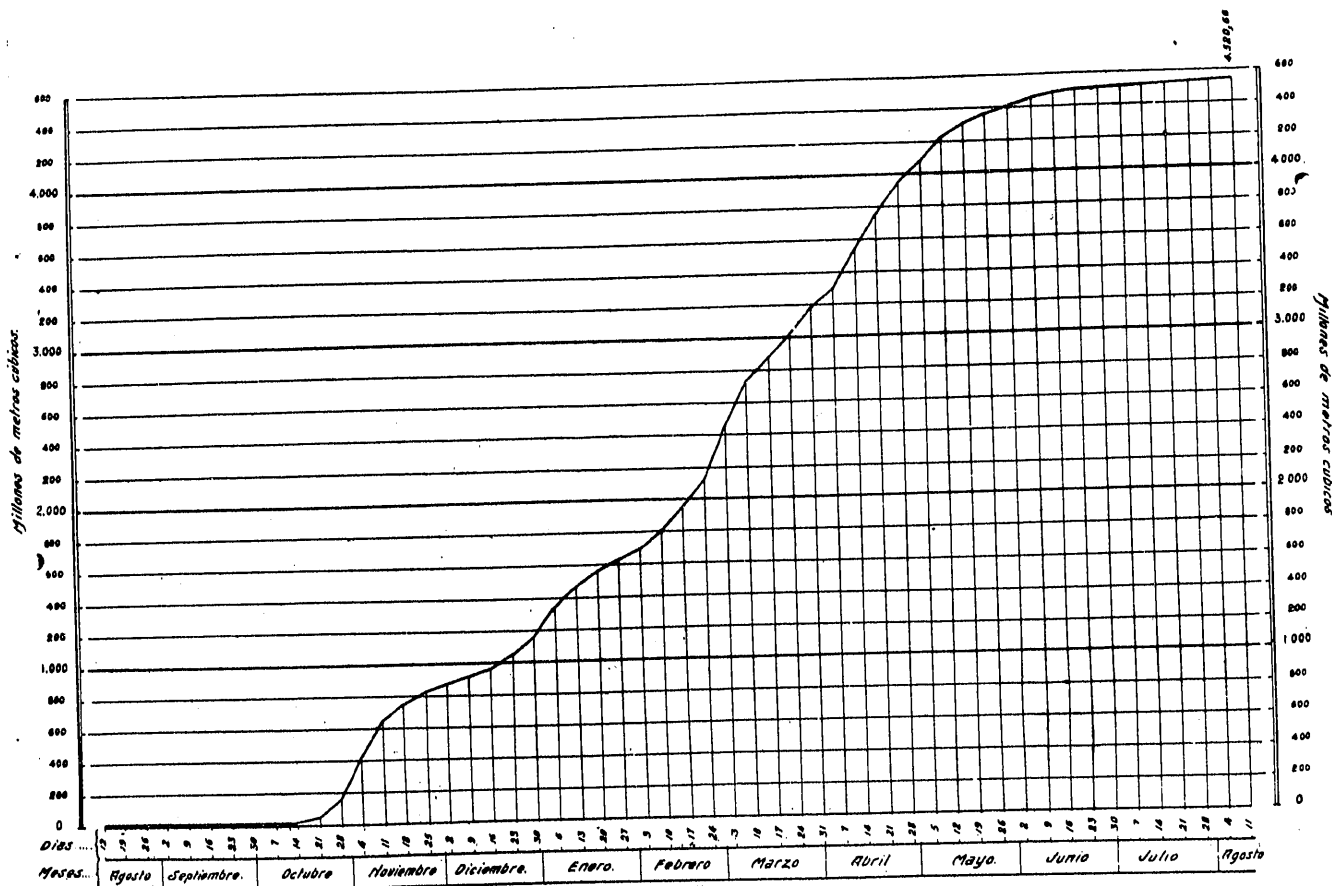


Fig. 5. Curva de caudales acumulados del río Esla, en la estación de aforo número 4, desde 12 de agosto de 1922 a 11 de agosto de 1923.

ro, como son, por ejemplo, la pintura de las escalas, la limpieza y engrasado de los cables, la limpieza de los pozos y tuberías, reparación de caminos, etc., etc.

COSTE DE LOS AFOROS.—El importe de las obras y trabajos de montaje e instalación de las estaciones de aforo en servicio, sin contar los limnigrafos y molinetes, ha sido el siguiente:

	Pesetas
Estación de aforo núm. 1, «Villachica».....	27 381,33
Estación de aforo núm. 2, «Bretó».....	31 691,22
Estación de aforo núm. 3, «Vegalatrave»....	5 899,46
Estación de aforo núm. 4, «Muelas».....	42 212,18
Suma	107 184,19

y como el costo de los limnigrafos y molinetes se elevó a..... 20 605,60

el valor total de las instalaciones de aforo en servicio y aparatos ha sido de..... 127 789,79

El coste medio de cada aforo realizado en el año 1924, en el que ya funcionaban las cuatro estaciones enclavadas en la provincia de Zamora, ha sido de 94,72 pesetas. En el servicio de aforos de dicho año se invirtieron 15 061,55 pesetas, distribuidas en la forma siguiente:

	Pesetas
Por jornales y sueldos del personal.....	8 567,70
Por materiales.....	1 273,25
Por transportes de materiales.....	200
Por diversos (cochecito de la Sociedad, reparación de aparatos, etc., etc.).....	5 020,60
TOTAL	15 061,55

y se hicieron (Cuadro primero) 159 aforos.

Víctor DE NÓ
Ingeniero de Caminos

Ensayos de firmes especiales para carreteras ⁽¹⁾

IV

En nuestro anterior artículo anunciábamos que reuniríamos en otro los ensayos hechos en varias provincias de afirmados capaces de resistir, en buenas condiciones, el tránsito intenso de vehículos con llantas metálicas fuertemente cargados.

Técnicamente el problema está completamente resuelto con los adoquinados modernos, a los que se ha llegado después de dilatada práctica. Un cimiento de hormigón de cemento portland con grueso de 15 a 20 cm; una almohadilla de mortero rico para asiento de los adoquines y una capa para la rodadura, de 12 a 14 cm de grueso, compuesta de elementos pétreos de gran resistencia al desgaste, de formas regulares y dimensiones relativamente pequeñas, esmeradamente labrados y tomadas sus juntas con mortero, proporcionan la resistencia requerida para contrarrestar los enormes esfuerzos que ha de sufrir el afirmado en las condiciones de tránsito antedichas. Por otra parte, la rodadura en esta clase de pavimentos es relativamente suave, aunque naturalmente no lo sea tanto como en los pavimentos continuos. Si se tiene en cuenta, además, que en algunas poblaciones españolas, Madrid entre ellas, se ha comprobado que después de diez años de ejecutados se encuentran en condiciones de durar veinte o treinta años más, con gasto de conservación moderado, y que al ser necesaria la renovación probablemente podrá utilizarse el mismo cimiento sin hacer de nuevo más que la capa de rodadura, parece deducirse que vale la pena de hacer los sacrificios económicos necesarios para conseguir tan halagüeños resultados.

Y así está sucediendo, por fortuna, en algunas grandes capitales; pero el Estado y las localidades pequeñas tienen otro modo de ver las cosas. Asusta el costo inicial, y sólo el enunciar que el metro cuadrado de esta clase de afirmados puede costar de cuarenta a cuarenta y cinco pesetas, es bastante para que se renuncie a su empleo o se recurra a él sólo en casos especiales y en escala reducida.

Los ingenieros se han visto, pues, obligados a buscar por todos los medios la reducción del costo de los adoquinados, estudiando en cada caso los medios de lograrlo, y a ensayar otros afirmados especiales más económicos, tales como el hormigón de cemento portland, los hormigones asfálticos, el tarmacadam, etc. La experiencia ha demostrado pronto que donde existen pocos carros con llantas estrechas excesivamente cargados, aunque la circulación de automóviles y carros sea muy intensa, los resultados de estos afirmados especiales son excelentes, y que únicamente dejan algo que desear en los casos de existencia de gran número de carros excesivamente cargados. Parecía lógico, en vista de ello, limitar la carga por centímetro de ancho de llanta y llevar la limitación a la práctica con todo rigor; pero se ha preferido conceder un nuevo plazo a los carros destructores para hacer la transformación de llantas. No hemos de discutir los hechos consumados, pero es evidente que el plazo concedido, que puede no ser el último, indica la conveniencia de seguir estudiando afirmados capaces de resistir el tráfico absurdo que padecemos.

Pueden mejorarse bastante los hormigones de cemento portland y los hormigones asfálticos; el estudio en cada caso de las dosificaciones, la vigilancia constante durante la ejecución y el empleo de maquinaria adecuada, darán lugar, evidentemente, a excelentes pavimentos. De ello nos ocuparemos en otra ocasión, limitándonos ahora a describir los ensayos hechos con miras a reducir notablemente el costo de los adoquinados cuando sea posible, sin sacrificar sus elevadas características.

Para reducir dicho costo, se ocurre desde luego la disminución del grueso del cimiento de hormigón y hasta la supresión del mismo, sustituyéndolo por una capa de arena. Esta solución, desechada en general para poblaciones, puede en carreteras ser en ocasiones conveniente. El cimiento de hormigón sirve para transmitir las presiones al terreno y para evitar la llegada de las aguas superficiales al subsuelo; si una carretera tiene bastante espesor de firme y está bien saneada y soleada, tendrá buenas con-

(1) Véase la REVISTA, números 2 437, 2 439 y 2 440.