

# Los firmes de carreteras<sup>1</sup>

## CAPITULO III

### Requisitos del contribuyente y de la Administración

Para el contribuyente y para la Administración, el firme debe ser no solamente sólido y duradero, sino también económico.

El problema que se debe resolver es, por tanto, el del mejor empleo de los créditos disponibles.

Para determinar si un firme es económico, es preciso tener en cuenta no solamente su precio de coste, sino también sus gastos de conservación y de amortización.

La determinación del firme a la vez más sólido y más económico es muy difícil, y nos contentaremos en el presente estudio con dar datos experimentales y las deducciones que se pueden sacar de estos datos.

#### 1.º CARRETERAS EXPERIMENTALES

Muchos países han ejecutado carreteras experimentales para el estudio de los varios firmes y de sus condiciones de resistencia:

##### a) Estados Unidos de América

En dicho país se desarrollan grandemente los transportes automóviles y el tráfico de coches y camiones es muy denso, pues el número de vehículos ha pasado de:

197 500	en	1908
a 23 226 000	en	1927.

Para determinar el tipo mejor de firme se han establecido las pistas de d'Arlington, en Virginia; de Bates, en el Illinois, y de Pittsburg, en California.

La pista de Bates fué recorrida por camiones con bandajes macizos cargados progresivamente hasta 14 toneladas; cada firme fué recorrido veintiocho mil veces.

Los firmes de esta pista estaban constituidos por:

- 1.º Ladrillos especiales sobre afirmado ordinario.
- 2.º Hormigón asfáltico sobre afirmado ordinario.
- 3.º Ladrillos sobre cimiento de hormigón de cemento portland.
- 4.º Hormigón asfáltico sobre cimiento de hormigón de cemento portland.
- 5.º Hormigón de cemento portland.

La pista de Pittsburg tenía firmes de hormigones corrientes y de hormigones de alta resistencia.

La pista de d'Arlington tenía firmes de hormigones y de productos asfálticos y bituminosos.

##### b) Alemania

Se ha construido una pista de pruebas en Brun-surcq; dicha pista tiene 1 080 m de largo y es circular.

Los firmes probados fueron los siguientes:

- 1.º Afirmado ordinario.
- 2.º Afirmado ordinario con riego asfáltico superficial.
- 3.º Afirmado ordinario con riego profundo y riego superficial asfáltico y de alquitrán.
- 4.º Hormigones de cemento.
- 5.º Adoquines pequeños (*petits pavés*).

Los vehículos transportaban cargas de 7 a 10 toneladas y tenían neumáticos o bandajes macizos de goma o metálicos.

La pista estaba dividida en cuatro zonas, reservada cada una a un tipo de bandaje y a una velocidad del vehículo que oscilaba entre 6 y 30 kilómetros por hora.

Además los firmes estaban reparados y sus gastos de conservación anotados, lo que ha permitido determinar dichos gastos y también la amortización.

##### c) Francia

Se ha construido en 1925 una pista de pruebas con firmes de hormigones de varias composiciones y resistencias, con juntas y sin juntas. La longitud de dicha pista es de 1 100 metros.

También se está ejecutando una pista de pruebas con varios firmes en Vicennes.

##### d) Inglaterra

La pista de pruebas en East Ham and Barking Bys Lakes Roads comporta los firmes siguientes:

- 1.º Ladrillos especiales sobre cimiento de hormigón.
- 2.º Macadam-mortero.
- 3.º Hormigón de gravilla.
- 4.º Hormigón asfáltico.

### 2.º RESULTADOS DE LAS CARRETERAS EXPERIMENTALES

Examinaremos, según los resultados dados por los firmes probados, la resistencia, los gastos de conservación y duración de dichos firmes mediante una conservación normal:

#### a) Resistencia del firme

1.º *Estados Unidos*.—Las pruebas han demostrado que algunos firmes no podían resistir por ser demasiado delgados o por tener una cimentación que carecía de resistencia.

Los firmes que mejores resultados han dado son:

A) Los hormigones con su espesor de 0,20 m, sin armar, o de 0,15 m, con armaduras de hierro, y los hormigones de alta resistencia.

B) Los ladrillos especiales extra duros rejuntados con betún asfáltico y colocados sobre cimiento de hormigón. El mismo resultado darían los adoquines pequeños de pórfido, cuarcita o granito rejuntados con cemento.

<sup>1</sup> Véase el número de 1.º de julio último, página 250.

C) Los hormigones asfálticos con espesor de 0,07 a 0,10 m colocados sobre cimientos de hormigón de 0,15 a 0,20 m de espesor.

2.º *Alemania*.—Los resultados de las pruebas, muy completas, hechas en Alemania han sido los siguientes:

A) *Bandajes neumáticos*.—Todos los revestimientos han dado buenos resultados, salvo los afirmados ordinarios, que pronto presentan baches.

B) *Tránsito de automóviles rápidos y de camiones más lentos con bandajes macizos*.—Los afirmados ordinarios no resisten y necesitan reparaciones continuas. En los demás revestimientos son los hormigones de alta resistencia y *petits pavés* los que dan el mejor resultado.

C) *Tránsito de vehículos con llantas de hierro*.—Los afirmados ordinarios no resisten. El macadam y los hormigones asfálticos resisten mal. Los hormigones de alta resistencia y *petits pavés* resisten mejor.

D) *Tráfico mixto de «autos» y carros*.—Las experiencias demuestran que los revestimientos que mejor resisten son el hormigón de alta resistencia y *petit pavé*, teniendo igual valor.

Hay que tener en cuenta que el tránsito de la carretera experimental de Brunswick era igual al tránsito durante doce años de una carretera corriente, y que ninguna grieta ni rotura se ha producido en el revestimiento de hormigón de alta resistencia.

3.º CONCLUSIONES

De las pruebas hechas referente a la resistencia de los firmes se pueden deducir las siguientes conclusiones:

A) *Macadam corriente*.—No conviene para cualquier clase de tránsito.

B) *Macadam con riego asfáltico*.—Conviene solamente para tránsito ligero de automóviles, pero necesita un riego anual.

C) *«Petits pavés», hormigón de alta resistencia y hormigón asfáltico*.—Conviene para los tránsitos de automóviles y camiones.

D) *Adoquines («petits pavés»), hormigón de alta resistencia*.—Son los únicos que convienen para toda clase de tráfico, especialmente el de carros con llantas de hierro. Es preciso en este caso reforzar los bordes del pavimento con bordillos enterrados trabajando a modo de estribo y ejecutar juntas de dilatación estrechas.

b) *Coste de conservación del firme*

Es preciso, para determinar los gastos ocasionados por la conservación de los firmes, tener en cuenta la intensidad y naturaleza del tráfico y los precios de materiales y jornales.

Por tanto, en las carreteras experimentales son las cantidades comparativas gastadas las que se deben tener en cuenta.

1.º *Estados Unidos*.—Los gastos de conservación por año y 100 metros de carretera, durante un período de cuatro años, han sido los siguientes, tomando por unidad los de los firmes de hormigón de alta resistencia:

Hormigones y adoquines.....	1
Ladrillos sobre cimientos de hormigón..	3,50
Asfalto sobre cimientos de hormigón..	5,58

2.º *Alemania*.—Los resultados están indicados en el siguiente cuadro:

FIRMES EN	TRÁNSITO DE			
	Neumáticos: tonelaje total, 940 000 t.	Bandajes elásticos, 1 025 000 t.	Bandajes macizos, 940 000 t.	Bandajes mixtos, elásticos y metálicos, 225 000 t.
Adoquín pequeño.....	0,185	0,700	0,230	0,185
Hormigón.....	0,140	0,735	0,140	0,300
Hormigón asfáltico.....	0,680	0,890	0,080	0,490
Tarmacadam.....	0,080	3,960	0,910	2,150
Afirmado ordinario con riego.....	0,390	5,080	3,800	6,190
Afirmado ordinario.....	2,600	4,500	3,110	4,630

a) *Tráfico de «autos» con neumáticos y bandajes muy elásticos*

Los firmes de conservación más económica son los hormigones de alta resistencia, hormigones asfálticos y tarmacadam. También los *petits pavés*, con la condición de que sean rejuntados con cemento y colocados sobre cimiento de hormigón.

La conservación de los firmes ordinarios con riego

superficial es de tres a seis veces más costosa. La conservación de los firmes ordinarios es de diez a quince veces más costosa.

b) *Tráfico de camiones con bandajes macizos*

Los firmes de conservación más económica son los hormigones de alta resistencia, hormigones asfálticos y *petits pavés*.

La conservación de los firmes de tarmacadam es de cuatro a siete veces más costosa.

La conservación de los firmes ordinarios con o sin riego superficial es de veinticinco a treinta veces más costosa.

c) *Tráfico mixto de «autos» y carros de llanta de hierro*

Los firmes se clasifican como sigue, por orden de gastos de conservación, creciendo:

- 1.º Adoquines pequeños (*petits pavés*) y hormigón de alta resistencia.
- 2.º Hormigón asfáltico.
- 3.º Tarmacadam.
- 4.º Afirmado ordinario con riego superficial.
- 5.º Afirmado ordinario.

Comparados a los tres primeros firmes, los gastos de conservación de los tarmacadam y afirmados ordinarios son de cinco a siete veces más elevados.

d) *Duración del firme*

Lo mismo que para los gastos de conservación, la duración del firme depende de las múltiples condiciones del tráfico, de la naturaleza de los cimientos, de la calidad de ejecución y de la conservación.

En los datos siguientes hemos supuesto una buena cimentación, una ejecución esmerada y una conservación normal, con un tráfico regular:

1.º *Tráfico mixto de «autos», camiones y carros con llanta de hierro.*

El adoquín grande y mediano sobre cimiento de hormigón en masa tiene una duración media de cuarenta a sesenta años.

El adoquín pequeño (*petit pavé*) sobre cimiento de hormigón en masa, de veinticinco a cuarenta años.

Para los hormigones, su empleo en gran escala, especialmente para los hormigones de alta resistencia, es relativamente reciente; sin embargo, se pueden citar ejemplos de gran duración, como en Escocia una carretera que existe desde sesenta años; en Bellfontaine (Ohio, E. U. A.), desde treinta años; en Bohemia y en Bélgica, desde veinte años.

En Alemania existen tres calles en Duisburg que tienen cincuenta y cuatro años de edad; en Francia, en Grenoble, hay treinta y seis calles de cincuenta años; en fin, las pruebas hechas en Brunswick han demostrado que las carreteras de hormigón de alta resistencia tienen una duración comparable a la de los adoquines pequeños.

Por tanto, se puede asignar para los hormigones de alta resistencia una duración de veinte a treinta años.

2.º *Tráfico de «autos» y camiones con bandajes de goma.*

El hormigón asfáltico colocado en caliente sobre buena cimentación tiene una duración poco inferior a la de los *petits pavés*.

Los hormigones bituminosos colocados en frío, el tarmacadam y otros firmes del mismo tipo, rápida-

mente deteriorados por las llantas de hierro, resisten muy bien al tráfico de «autos» y también al tráfico de camiones, si se conservan como es debido.

Hay, sin embargo, que tener en cuenta que estos revestimientos son laminados por el rodaje continuo y que su capa superficial sufre el ataque de los agentes atmosféricos, que la hacen perder su elasticidad. Por tanto, no se debe contar con una duración superior a diez años.

El macadam-mortero es un macadam mezclado con un mortero de cemento rico. Este revestimiento no tiene la resistencia de los precedentes, pero es mejor que el macadam con riego superficial, y sólo podrá resistir durante unos ocho a diez años a un tráfico poco intenso y poco pesado.

3.º *Tráfico de «autos» ligeros sobre neumáticos.*

El macadam protegido por un riego superficial conviene a dicha clase de tráfico, mediante un riego repetido cada seis meses.

Por tanto, se puede emplear dicha clase de firme para carreteras secundarias, y en estas condiciones, bien conservado, puede resistir unos diez a quince años.

4.º *Conclusiones generales.*

Para el contribuyente y para la Administración, el firme debe ser resistente y económico.

Hemos estudiado por separado la resistencia, los gastos de conservación y la duración de los firmes; resumiremos en un cuadro estos datos, con sus precios aproximados, que permitirán hacerse una idea de la economía a realizar según el tipo de firme elegido para un tráfico determinado.

El firme debe ser apropiado a la intensidad y naturaleza del tránsito, y se ha de notar que siempre hay ventaja en adoptar un firme de resistencia inmediatamente superior a la estrictamente necesaria para el tráfico de la carretera.

Además, como hay que prever el aumento de tráfico, conviene, si las condiciones económicas lo permiten, establecer firmes resistentes y duraderos.

Entre los mejores firmes resistentes y duraderos pudiendo ser utilizados en España se imponen:

a) Los adoquines de tamaño normal sobre base de hormigón.

b) Los adoquines pequeños (*petits pavés*) sobre base de hormigón.

c) Los hormigones de alta resistencia, que, desde el punto de vista económico, ocupan un lugar de primera fila.

d) Los hormigones asfálticos para carreteras cuyo solo tráfico es de «autos».

Si la Administración debe construir firmes resistentes y duraderos, también debe emplear los firmes que den el confort y la seguridad a los usuarios y que les hagan gastar un mínimo de gasolina y de neumáticos. Recordamos que la mejor solución para todos consiste en adoptar firmes rígidos, unidos, pero rugosos.

Entre los revestimientos modernos, los adoquines pequeños (*petits pavés*) y hormigones de alta resistencia son los que satisfacen mejor a las condiciones de resistencia y economía, como también a los requerimientos de los usuarios.

*Gastos de ejecución y conservación de los firmes*

Naturaleza del tráfico	Tipo del firme	Precio medio de ejecución por m <sup>2</sup>	Duración probable	Coste anual de ejecución comprendida amortización	Gastos anuales de conservación por m <sup>2</sup> y año	Gasto anual total
1.º Tráfico pesado, «autos» y carros con llanta de hierro ...	Adoquines tipo normal sobre hormigón .....	40 pesetas.	50 años	2	0,25	2,25
	Hormigón de alta resistencia de 0,20 a 0,22 .....	26 pesetas.	28 años.	1,65	0,25	1,90
2.º Tráfico mediano, «autos» y carros con llanta de hierro ...	Adoquines pequeños o <i>petits pavés</i> sobre hormigón .....	31 pesetas.	30 años.	2	0,25	2,25
	Hormigón de alta resistencia de 0,16 a 0,18 .....	24 pesetas.	25 años.	1,65	0,25	1,90
3.º Tráfico mediano, con sólo «autos» y camiones automóviles .....	Tarmacadam y macadam con riego profundo y superficial .....	17 pesetas.	18 años.	1,45	0,60	2,05
	Macadam con mortero de cemento rico.	17 pesetas.	12 años.	1,95	?	?
4.º Tráfico ligero con sólo «autos» .....	Macadam con riego superficial con grava fina .....	10 pesetas.	10 años.	1,30	0,75	2,05

CAPÍTULO IV

**La salvaguardia del interés nacional**

La elección de los firmes debe tener en cuenta la defensa de los intereses superiores del país, es decir, que el arreglo de la red de carreteras no debe aumentar las importaciones y debe contribuir a desarrollar los transportes y a reducir el coste de los mismos.

Por tanto, se debe procurar emplear para los firmes materiales nacionales, no solamente para no aumentar las importaciones, sino también para favorecer las industrias españolas y disminuir el paro obrero.

El aumento de los transportes por carreteras y su disminución de precio facilitarán los intercambios y contribuirán a aumentar la riqueza nacional.

En resumen, la salvaguardia del interés nacional obliga el problema de firmes de carreteras a extenderse en el dominio económico y social.

1.º LOS MATERIALES NACIONALES

Se debe procurar emplear para los firmes de carreteras materiales nacionales, cosa muy factible, para establecer y conservar una red de carreteras de primer orden.

Entre los tipos de firmes necesitando únicamente materiales nacionales, citaremos:

a) *Los adoquines*

Hay en España excelentes canteras de granito, pórfido, diabasa, sienitas, basaltos, microgranitos, etcétera, cuya piedra es de primera calidad y que dan adoquines perfectos.

El único inconveniente de este material es su precio elevado y sus defectos para el rodaje de automóviles.

b) *Los hormigones de cementos*

Este material se compone de grava, arena, rocas

duras machacadas, todo de producción nacional. Además, numerosas fábricas de cemento, pudiendo fabricar cementos de alta resistencia, serían necesarias para la ejecución de los firmes de hormigón de alta resistencia.

c) *Revestimientos alquitranados*

Estos firmes se pueden considerar como enteramente ejecutados con productos nacionales.

d) *Macadam-mortero*

Lo mismo que los hormigones, el macadam-mortero se puede ejecutar con materiales nacionales y, por tanto, puede ser empleado en carreteras secundarias.

e) *Los asfaltos*

Los betunes asfálticos de buena calidad son productos extranjeros; por tanto, gravan la economía nacional al ser importados.

2.º GASOLINA Y CAUCHO

Son productos de importación; por tanto, los firmes que reducen al mínimo su consumo son los que salvaguardan mejor los intereses nacionales.

Además, los gastos de los transportes por «auto» o camión-automóvil serán reducidos, y así se favorecerá el comercio y la industria, facilitando los intercambios.

3.º CONCLUSIONES

De todo lo que antecede se desprende que el problema de las carreteras es de importancia vital para el país, pues repercute en todas sus actividades, y que debe comportar soluciones económicas, previstas y nacionales.

Maximiliano JACOBSON  
Ingeniero E. C. P.