

Ensayos de firmes especiales para carreteras⁽¹⁾

V

Nuestros lectores habrán advertido que hasta el presente sólo nos hemos ocupado de afirmados en los que se ha obtenido completo éxito. Los hormigones de cemento portland en Sevilla, los hormigones asfálticos en San Sebastián, los afirmados de tarmacadam en Barcelona y la mayoría de los modernos adoquinados y empedrados ejecutados en varias provincias, han dado resultados excelentes, debidos, en gran parte, a la elección de tramos de ensayo en condiciones apropiadas de clima y tráfico. Los fracasos, en número relativamente pequeño, han sobrevenido cuando una confianza excesiva ha dado lugar a la aplicación de firmes especiales en tramos de carretera en los que el tráfico tiene características de intensidad y peso no igualadas en ningún país, o al menos en los que conozco. Por fortuna, es relativamente corto en nuestra nación el número de kilómetros de carreteras que están en dichas condiciones, y es prudente en esos casos emplear de preferencia los modernos adoquinados y empedrados. Los continuos perfeccionamientos de la técnica de carreteras permiten abrigar la esperanza de ir extendiendo continuamente el campo, ya muy importante, de los demás firmes especiales.

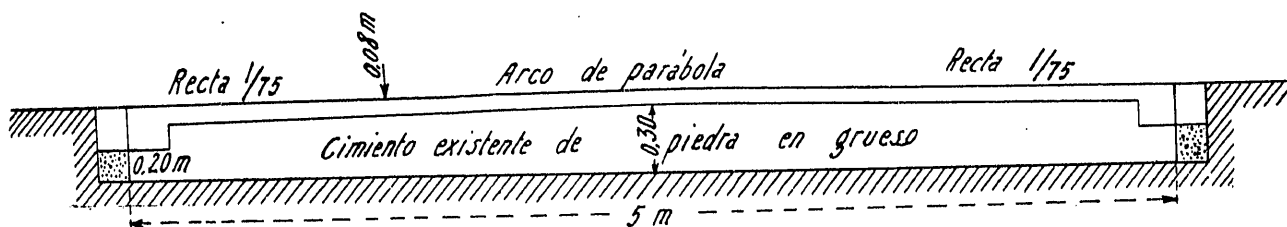
Hace unos días tuve ocasión de ver un interesantísimo perfeccionamiento de los antedichos. La sociedad *Soliditit Belga* solicitó del Ministerio de Fomento

rís, pero en esta capital no vimos más que firmes terminados. En Bélgica tuvimos ocasión de estudiar con todo detalle la ejecución, pues a pesar de que la temperatura era de algunos grados bajo cero, la Sociedad *Soliditit Belga* continuaba sus trabajos en la carretera de Brujas a Ostende, por el interés que tenía de que los ingenieros españoles conociesen a la perfección los métodos empleados, aunque probablemente no quedará el hormigón ejecutado a tan baja temperatura en buenas condiciones.

En consecuencia, me referiré por el momento a los métodos belgas, sin perjuicio de describir las variantes introducidas en Francia, con los datos que amablemente nos proporcionó el ingeniero director del *Soliditit Francés*, M. Fedi.

El firme estudiado es, en esencia, una capa delgada de hormigón de cemento especial de fraguado lento y de alta resistencia, que está íntimamente ligada a otra de hormigón de cemento portland que sirve de cimiento. El cemento de la capa superior, fabricado por primera vez en Italia por la casa Portland Casalesi, se obtiene tratando el *clinker* de cemento portland con un elemento silíceo escogido y dosificado convenientemente; el producto, en los ensayos químicos, da un exceso de sílice en forma particular.

La capa de cimiento puede suprimirse cuando la base de sustentación sea apropiada, y en muchas carreteras de Bélgica se ha hecho así, pues existe un

Fig. 1.^a

que se nombrase una comisión de ingenieros para estudiar en Francia y Bélgica los firmes de hormigón de cemento *Soliditit*, y concedida la oportuna autorización, salimos para dichos países D. Rafael Apolinario, jefe de la Sección de Carreteras; D. Francisco de Albacete, ingeniero jefe de Obras públicas, de Madrid; D. Julio Moreno, ingeniero jefe de Obras públicas, de Málaga; D. José Vallejo, afecto a la Jefatura de Madrid; D. Antonio Ibarra, afecto a la Jefatura de Sevilla; D. Manuel Delgado, afecto a la Jefatura de Málaga; D. Cipriano Sabater, afecto a la Jefatura de Barcelona; D. Alfonso Peña, profesor de la Escuela de Ingenieros de Caminos, y el que suscribe. Los consejeros de la Sociedad *Soliditit Español*, D. José Ferrer y Vidal y Mr. Max Jacobson, nos acompañaron durante todo el viaje, y gracias a ellos y a D. Jaime Torruella, representante de la Sociedad Cubiertas y Tejados, la organización del viaje resultó perfecta.

La visita empezó por los afirmados hechos en Pa-

cimiento de piedra en grueso de 30 a 40 cm de espesor, sobre el que se apoyaba el macadam antiguo. En estos casos la capa superior alcanza 8 a 10 cm de grueso, pudiendo reducirse a 6 cm cuando se une a un cimiento de hormigón de portland.

El hormigón hecho con cemento *Soliditit* consta únicamente de cemento y piedra partida. Se ha comprobado que la pasta de cemento *Soliditit* no presenta mucha tendencia al agrietamiento, y como se persigue que el hormigón tenga elevadísimas resistencias a la compresión y al desgaste, se dosifica a razón de 700 kg de cemento por m³ de piedra y se suprime la arena. En estas condiciones se ha ensayado en el Laboratorio de la Escuela de Puentes y Calzadas de París una loseta de hormigón con piedra porfídica y ha dado resistencia a la compresión de 735 kg por cm² y desgaste del orden de los buenos granitos. Estas elevadísimas resistencias probablemente serán debidas a la adherencia extraordinaria de la pasta de cemento con la piedra, a la gran dureza que adquiere la pasta y a que no se admiten otros materiales pétreos más que rocas silíceas de

(1) Véase la REVISTA, números 2 437, 2 439, 2 440 y 2 443

origen ígneo (pórfidos, sienitas, diabasas, granitos, dioritas, etc.), con las que parece se efectúa durante el fraguado una acción química.

El director general de Obras públicas de Bélgica, M. Gevaert, nos dió conocimiento de que en los pliegos de condiciones se exige que el hormigón de cemento especial tenga a los dos meses resistencia a la compresión superior a 600 kg por cm^2 haciendo los ensayos sobre *prismas extraídos del afirmado*. Esta severísima condición no pueden satisfacerla todos los pavimentos que se ejecutan, y se efectúa una reducción de precio, con arreglo a ciertas fórmulas, cuando no la cumplen. Parece ser que, no existiendo en Bélgica el sistema de primas a la ejecución esmerada, se consigue indirectamente estableciendo un precio alto con descuentos que aumentan en importancia a medida que el hormigón resulta menos resistente, admitiéndose como mínimo 450 kg. por centímetro cuadrado.

La sección del afirmado que vimos ejecutar en la carretera de Brujas a Ostende se representa en la figura 1.^a Para cimiento se utiliza la capa de piedra en grueso que constituía el apoyo del macadam antiguo, y los bordillos son los que existían también para contención del macadam. La capa de hormigón de alta resistencia tiene 8 cm de grueso.

Puede observarse que en los costados se aumenta el grueso, precaución indispensable por la tendencia de los hormigones a separarse del cimiento en dichos sitios con los cambios de temperatura y humedad. De esta manera se evitan grietas en los ángulos de las juntas con el borde del afirmado, que pudimos comprobar en los casos que no se tuvo la precaución de reforzar el pavimento en los costados. Es asimismo indispensable que los bordillos tengan apoyo sólido empleando para asentarlos hormigón pobre.

La piedra empleada es de naturaleza porfídica y de tamaño comprendido entre 10 y 25 mm. Procede de una cantera explotada racionalmente, en la que se

Para disponer de agua se perforaron pozos de dos en dos kilómetros, instalando en ellos bombas, y por tuberías que tienen llaves cada cinco metros se conduce el agua a los diversos tajos. Como se trabaja



Fig. 3.ª

con dos equipos a la vez, son necesarias dos hormigoneras, que producen de 80 a 100 m^3 en las ocho horas. El apisonado se hace con pisones neumáticos, y un solo compresor de 30 CV proporciona aire para seis pisones, manejando tres cada equipo. Se necesitan unos 500 m de tubería para aire comprimido y 2 km de tubería para agua. Todos los motores de las máquinas son de gasolina. En la figura 2.^a puede verse la situación de la maquinaria en obra.

En esta carretera pudo desviarse el tránsito y, por consiguiente, los trabajos se efectuaban con gran comodidad.

Es fundamental para obtener juntas perfectas hacer losas alternadas. La longitud de cada losa es de 10 m, y conviene advertir que en varios kilómetros de pavimento que tuvimos ocasión de ver en Bélgica, hechos con los bordes reforzados, no hemos encontrado ni la más pequeña grieta.

Cada losa se hace con tres capas de hormigón de cemento de alta resistencia, de 3 cm de espesor las dos primeras y de 2 cm la superior, haciendo la compresión con pisones neumáticos en cada capa (fig. 3.^a), siendo mucho más energética la de la última, para que el hormigón de las tres forme un conjunto.

La operación preliminar de colocación de las cerchas debe hacerse con gran esmero, nivelándolas con todo cuidado y manteniéndolas en posición por grandes clavos hincados en el cimiento o sujetándolas con hormigón, siendo esto último menos recomendable. Con gran frecuencia debe hacerse la rectificación de las cerchas, para tener garantía de que las juntas quedarán bien por estar en todos los puntos el hormigón de dos losas adyacentes a la misma altura. Dentro de cada losa se colocan cerchas provisionales, constituídas por hierros en T cada dos metros, para tener la garantía de que la

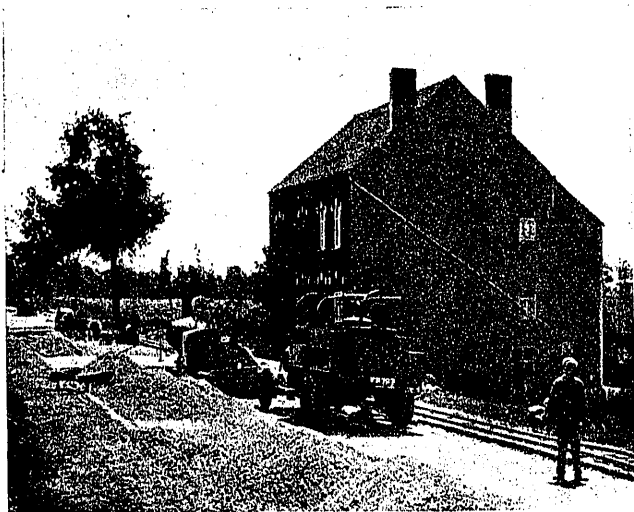


Fig. 2.ª

obtienen adoquines grandes y pequeños, balasto, piedra partida de todos tamaños y arena. Algo parecido existe en España en algunas canteras, como las que hay en explotación en Colmenar Viejo.

Para ejecutar los 16 km de esta contrata se empezó por hacer depósitos, a lo largo de la línea, de piedra y de cemento, resguardando estos últimos con toldos.

superficie de la losa es correcta; estas cerchas se retiran apenas se rellena cada trozo de losa.

El enrasado de la superficie final se hace con un hierro en 'T', que descansa sobre las dos cerchas fijas, moviéndolo nueve hombres; esta operación es relativamente fácil, pues el hormigón de la capa superior se hace algo, no mucho, más flúido que el de las capas inferiores, que es bastante seco. Para alisar no se emplean medios mecánicos: el capataz o un obrero muy hábil efectúa la operación con paleta.

para proteger el hormigón, no se consigue resultado satisfactorio por completo.

Tal vez parecerán a algunos excesivas las minuciosas precauciones que se toman para ejecución de estos afirmados, y quizás haya quien sospeche que únicamente en ciertas ocasiones se observarán; si, además, se añade que el trabajo se hace a destajo, la desconfianza llegará al límite. Sin embargo, creo que las sospechas serían infundadas, si existiesen, pues los resultados son siempre tan satisfactorios como

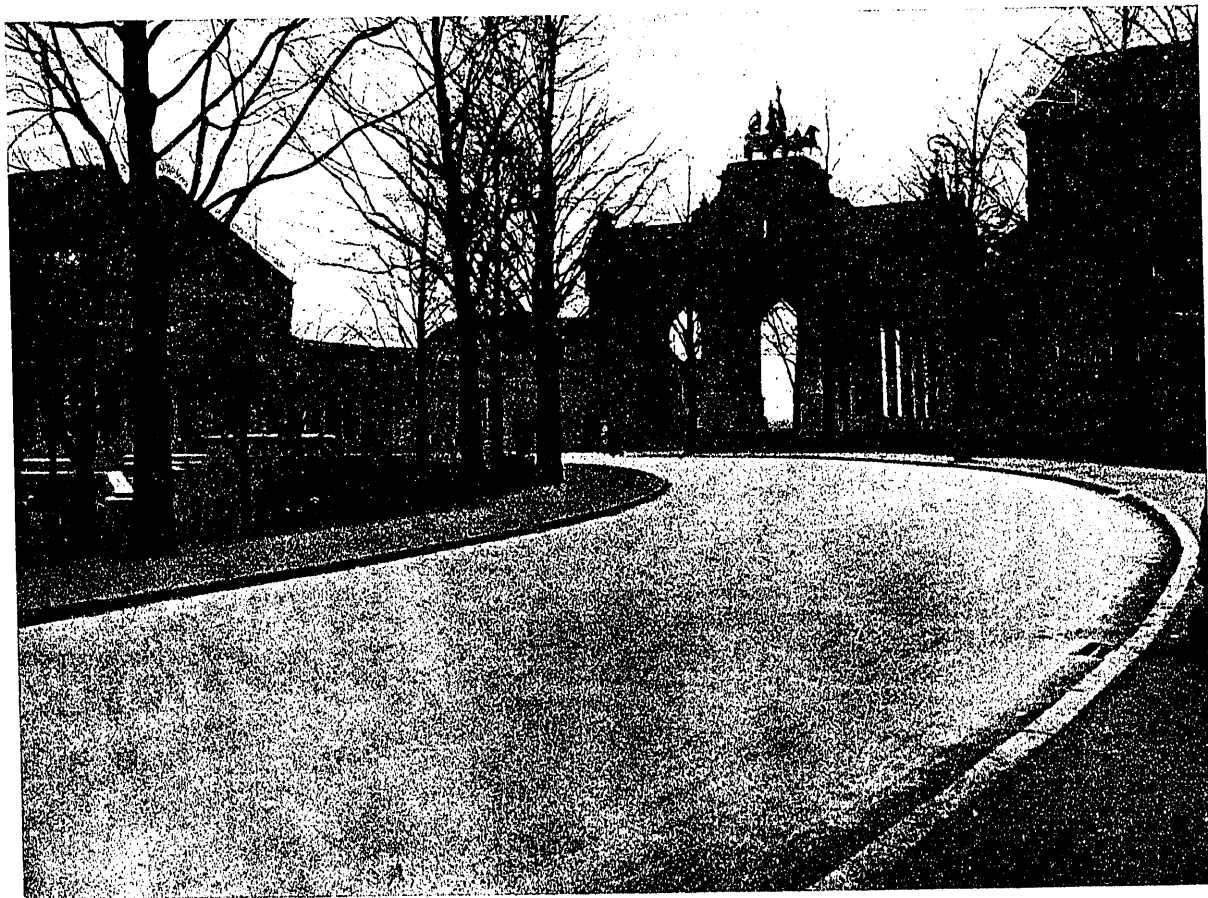


Fig. 4.ª

Indefectiblemente debe quedar terminada la losa en el día; cada equipo consta de once obreros, un sobrestante y un capataz, que hacen cuatro losas por día.

Las cerchas se retiran con todo cuidado al día siguiente, quedando así el borde de la losa perfectamente vertical; si hay alguna rebaba, el capataz la quita con gran cuidado con una piedra, para que el filo quede vivo. Después se embadurna ligeramente la junta con arcilla, para que la losa que ha de construirse a continuación no suelde con la precedente.

No debe hacerse hormigón en tiempo excesivamente caluroso, y siempre que la temperatura sea algo elevada debe regarse el pavimento a las tres horas de hecho. Continuando los riegos durante quince días puede entregarse al tránsito después de dicho plazo; pero es preferible prolongarlo hasta veintiocho días. Sin embargo, en ocasiones se ha entregado al tránsito a los tres días. El riego es fácil por existir la tubería a lo largo de la línea con llaves cada 5 metros.

En tiempo de heladas es preferible paralizar los trabajos, pues aun tomando grandes precauciones

los que pueden apreciarse en la figura 4.ª, en la que se ve un pavimento ejecutado hace tres años en la plaza del Cincuentenario en Bruselas.

Particularmente la perfección de las juntas en cuantos afirmados de cemento de alta resistencia hemos visto fué tal, que no pudimos menos de felicitar calurosamente a los ingenieros Mr. Emile Despa y M. Jules Molle.

Después de visitar en Bélgica el afirmado en ejecución antedicho, recorrimos completamente la carretera de Bruselas a Namur, de 60 km de longitud, en la que se han aplicado numerosos tipos de pavimentos. Adoquinado, *petit pané*, *soliditit*, tarmacadam, tarmacadam de escorias, losetas asfálticas, etc., se han construído por casas especialistas en condiciones muy ventajosas para el Estado, pues teniendo interés en acreditar determinado pavimento, la ejecución ha sido esmeradísima y el precio notoriamente bajo. La carretera soporta activo tráfico (unos 250 000 vehículos al año); pero la mayor parte de los vehículos tienen llanta de goma, pues los carros representan únicamente el 10 por 100 del número de vehículos, siendo además de advertir que, aunque

vimos carros fuertemente cargados, el ancho de llantas que pudimos observar excedía siempre, en los carros de dos ruedas, de 10 centímetros.

En esta carretera existen 5 km de afirmado de hormigón de alta resistencia, construídos hace tres años.

va a fabricarse en breve en nuestro país resultará más caro, pues el carbón tiene en España precio muy elevado; pero nunca llegará a constituir un obstáculo serio para la extensión de los afirmados de hormigón de alta resistencia.

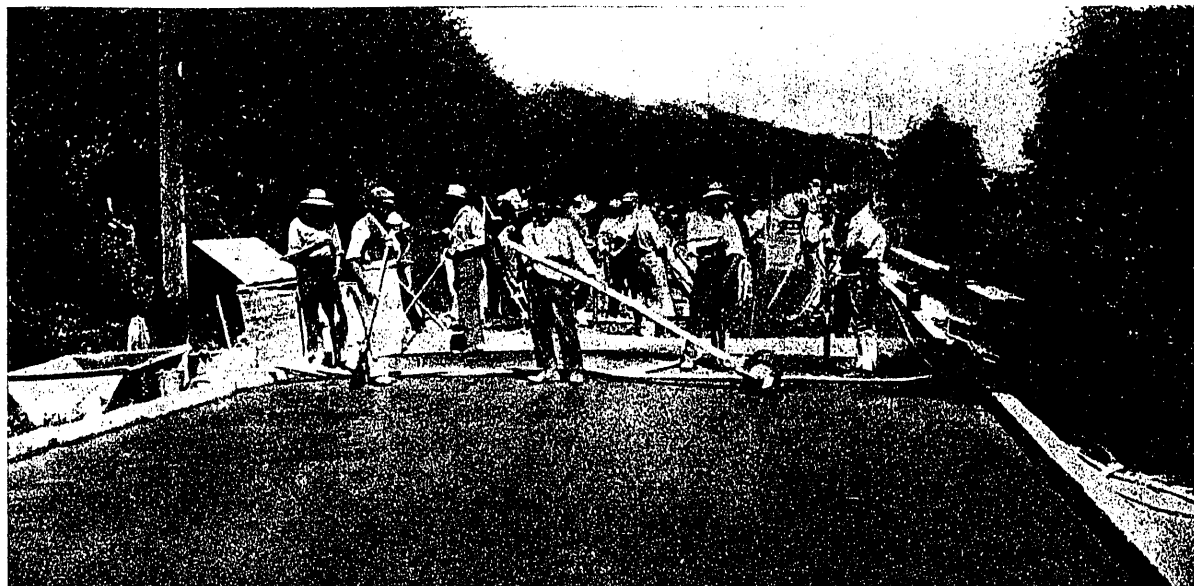


Fig. 5.ª

El resultado ha sido magnífico, pues no hay el menor desperfecto ni en la superficie ni en las juntas, hasta el punto de que no pudimos hacer saltar ni una sola piedrecilla. Dado el riguroso clima de Bélgica, la pendiente máxima del afirmado es de 5 por 100, por el temor de que resulte resbaladizo; pero nuestra impresión fué que en nuestro país se podría rebasar bastante dicho límite, pues la carretera estaba cubierta de escarcha cuando hicimos la visita, a pesar de lo

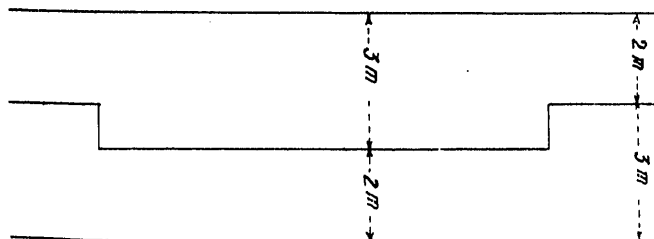


Fig. 6.ª

cual no se producía el resbalamiento, como en algunos otros de los diversos tipos de revestimiento.

Las juntas, al principio, se hicieron oblicuas, para que los vehículos tuviesen mejor movimiento, por no entrar en ellas las dos ruedas a la vez. Han resultado las juntas tan perfectas, como dijimos anteriormente, que ya se hacen siempre normales al eje de la carretera.

Posteriormente vimos en Bélgica numerosos tramos de pavimento de hormigón Soliditit en calles, carreteras y paseos. Todos se encuentran en excelente estado. Como nota curiosa añadiremos que en el Bosque de Lacambe existe un paseo de hormigón de cemento portland, sólo para automóviles, que se halla en buen estado y hace más de quince años que se construyó.

El precio del cemento Soliditit es de 210 francos tonelada en el puerto de Amberes, que viene a ser de unas 70 pesetas tonelada. Probablemente, el que

No terminaremos las notas referentes a Bélgica sin expresar nuestro profundo reconocimiento al director de Obras públicas, M. Gevaert, al presidente del Touring Club Belga, M. Duchaine (quien, al frente de sus 220 000 asociados ha hecho una cam-



Fig. 7.ª

paña intensísima para mejorar las carreteras y conseguido que los impuestos sobre automóviles se dediquen a construcción de afirmados modernos) y al coronel Van Deuren, que ha tenido la parte principal en el estudio técnico, económico y financiero de los firmes de hormigón de alta resistencia, constituyendo sociedades para la construcción en numerosos países. La colaboración estrecha de la Administración pública con los usuarios de las carreteras y la preparación técnica de los constructores, dará lugar en plazo relativamente breve a la solución completa del problema de las carreteras en Bélgica, que tiene extraordinaria importancia.

En Francia se admite para el hormigón piedra de

mayor tamaño, 1 a 5 cm, para hacer la compresión en una sola capa. Debido al tamaño mayor de la piedra y a que el hormigón se emplee muy seco, el acabado es difícil. Se hace apisonando con una pieza de madera muy pesada manejada desde los costados y pasando un rodillo ligero (fig. 5.^a). La operación es delicada, pues si refluye demasiada pasta, queda mal unido el hormigón y los vehículos le hacen desaparecer rápidamente.

Como dato curioso de la manía de patentes extendida en todos los países, y que las Administraciones conceden con ligereza, diremos que la Sociedad Soliditit francés ha obtenido una de dichas patentes, que consiste en colocar en las juntas chapas delgadas de palastro que no llegan a la superficie, procedimiento muy extendido en nuestro país y quizás en varios otros.

Muy interesante resulta el afirmado hecho en París en la calle de Lieja, pues por haber una casa en construcción fué preciso hacer el hormigón en la forma indicada en la figura 6.^a, y no se conoce apenas la junta longitudinal. No menos interesante será el resultado del firme de la figura 7.^a, por existir una vía de tranvía.

La superioridad del hormigón de alta resistencia sobre el corriente se demuestra con claridad en el Cours Albert I de París. Construídos al mismo tiempo, tiene el afirmado de hormigón corriente grietas y degradaciones en las juntas, en tanto que el afirmado de hormigón de alta resistencia se encuentra en perfecto estado.

En climas tan extremados como en Argelia se estudia la ejecución del hormigón bajo cobertizos móviles, para defenderlos tanto de los rayos solares como de las lluvias torrenciales. Durante la noche se protege el hormigón fresco cercándolo con alambrada, para evitar que los ganados pasen sobre él, pues las huellas que dejan son difícilísimas de borrar.

Para resumir lo anteriormente expuesto, creo deber decir que, a mi juicio, los afirmados de hormigón de cemento de alta resistencia constituyen, técnica y económicamente, una solución excelente para pavimentos de calles y carreteras. Sin embargo, en las aplicaciones que van a hacerse en nuestro país hay que tener en cuenta que nuestro tráfico es en algunas ocasiones de tal naturaleza, que no hemos visto nada igual en los países que hemos visitado, y pudiera suceder que la prueba en tales casos no resultase satisfactoria. Conviene, pues, empezar los ensayos por calles y tramos de carretera que teniendo tráfico intenso no esté compuesto más que en proporción reducida de carros excesivamente cargados y con llantas estrechas, pues si los resultados corresponden a las esperanzas, más adelante puede extenderse el sistema a los tramos por donde circulen en gran cantidad los carros pesados.

Sería también conveniente estudiar la ejecución de empedrados con morteros de cemento de alta resistencia, tanto para prolongar su duración, como para poder permitir el tránsito en breve tiempo.

Manuel AGUILAR

Profesor de la Escuela de C., C. y P.

El golpe de ariete en las tuberías

I

Un vistazo a la historia del problema

Desde que se construyeron tuberías para conducir y distribuir agua, se observó que las maniobras para regular el gasto de los orificios preparados para tomarla provocaban variaciones de presión repentinas y muchas veces considerables. De un modo inmediato se dió una explicación burda del fenómeno: la columna de agua, en marcha para llegar al orificio de salida, había de detenerse bruscamente al encontrarlo cerrado, y esta detención brusca originaba un choque de la masa líquida contra las paredes del recipiente que la encerraba, como un callejón sin salida. El resultado del choque era un aumento de presión que provocaba el rechazo de la columna líquida hacia atrás, hasta que detenía su movimiento.

Para evitar consecuencias funestas del fenómeno, que llegaban muchas veces hasta la rotura del tubo, se imponía una gran lentitud en las maniobras de apertura y cierre de los orificios y precauciones minuciosas para evitar el almacenamiento de aire, en bolsas o burbujas, intercaladas en la masa líquida que, al llegar a los orificios, salieran repentinamente, dejando un hueco donde se precipitara la columna líquida, que, al colmarlo, provocaría el *golpe de ariete*.

Pero en cuanto hubo que regular el gasto de las tuberías con premura impuesta por necesidades de otro orden (para evitar que los motores impulsados

por el chorro de salida se acelerasen peligrosamente, al quedarse descargados, por ejemplo) ni aquella grosera explicación, ni la práctica de los cierres lentos podía bastar, y los técnicos hidráulicos hubieron de dedicarse a la averiguación minuciosa de las circunstancias todas del fenómeno y al cálculo de las cantidades que entran en juego al producirse.

Las investigaciones antiguas, que se habían hecho sin grandes propósitos especulativos, se intensificaron, y multitud de físicos, matemáticos e ingenieros acometieron la resolución del problema del *golpe de ariete*. Entre los autores de conocidos trabajos publicados acerca del tema, descuellan nombres ilustres como los de Castigliano, Resal, Michaud, Pateau, Boussinesq y otros muchos esclarecidos ingenios.

Mas, por lo que se infiere, el problema era intrínscado, antes de ser resuelto por primera vez, como sucede con muchísimos problemas, entre los cuales debe incluirse el de poner de pie un huevo, y una solución que pueda calificarse de completa no se obtuvo hasta que lo acometió el ingeniero Lorenzo Allievi, el cual, para el caso corriente de una tubería de salto de agua única, alimentada por un depósito superior, dió una solución clara y definitiva.

En las notas de Allievi, verdaderamente magistrales y encantadoras por la forma en que se sirve del instrumento matemático, faltan, sin embargo, las consideraciones pertinentes al caso de haberse injertado, en la parte inferior de las tuberías, chimeneas de equilibrio o depósitos de aire comprimido, amor-