

S. ROCCI, ingeniero de caminos

# **refuerzo y ensanche de firmes de hormigón**

514 - 43

## **1. Origen del problema**

En los países en que la técnica de ejecución de firmes de hormigón lleva ya establecida más de cuarenta años, se ha ido imponiendo últimamente la repavimentación de firmes, que han excedido ya con mucho su vida útil (estimada en 28,2 años por el U.S. Bureau of Public Roads, según datos oficiales de 24 Estados y 320.000 km de carreteras ejecutadas en veintiún años).

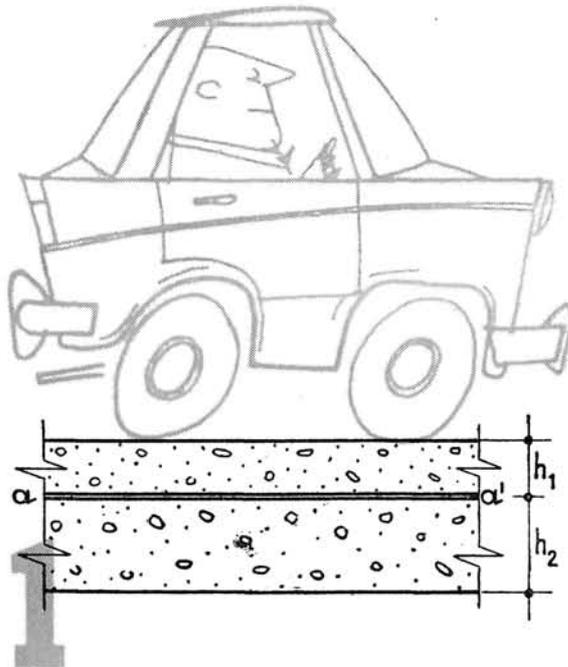
Una razón más para el envejecimiento y subsiguiente deterioro de estos firmes antiguos, es la de que fueron construidos en épocas en que esta técnica efectuaba sus primeros pasos; pero con la ejecución moderna se pueden prever duraciones útiles aún mayores. Por lo que a Europa respecta, no hay que olvidar que a esos viejos firmes les han pasado dos guerras mundiales por encima, cuando menos la última (¡y siguen en servicio!). Un dato curioso es que el primer firme de hormigón del mundo, construido en Edimburgo, en el Blackwood Crescent, en 1873, sigue en servicio brillantemente tras tan sólo ochenta y siete años de vida.

Llamaré la atención sobre el hecho de que el deterioro del firme de hormigón consiste en su agrietamiento y no en la formación de un bache (que sobrevendrá muy posteriormente, si no se atiende a la reparación), siempre perjudicial para el tráfico que rueda por encima.

En pavimentos localizadamente deteriorados se suele efectuar la reparación sustituyendo las losas individuales averiadas, cuando este estado de agrietamiento sea tan avanzado que no permita utilizar la técnica de renivelación por inyección (de esta técnica trataré en otro artículo). Pero si el defecto es general, lo único que cabe hacer es levantar todo el firme para proceder a su sustitución total, o proceder a un "recargo" análogo al que se efectúa en los pavimentos flexibles, y que constituye una de sus principales ventajas.

Efectivamente, muchas veces conviene aprovechar el valor sustentante que posee el firme antiguo, cuando está agrietado de forma que no sirva ya para la función de rodadura. Además, durante sus años de servicio, la base subyacente ha obtenido un grado de compactación, debido a la acción del tráfico, difícilmente alcanzable en la nueva construcción, a menos de emplear medios antieconómicos. Todas estas ventajas parecerían indicar la conveniencia de efectuar, sin más, la superposición directa del nuevo firme sobre el antiguo.

Sin embargo, existen inconvenientes que obligan a tomar precauciones, sancionadas ya por la práctica de muchos años, realizada especialmente en EE. UU., Inglaterra y Bélgica. El principal de ellos es que las grietas del firme antiguo constituyen puntos débiles del espesor, o sea, que tienden a transmitirse al nuevo firme. Esto impone limitar, en cierto modo, la colaboración resistente entre el antiguo firme y el nuevo (sobre esto volveré más adelante).



Por otra parte, el incremento en carga, velocidad y frecuencia que ha experimentado el tráfico después de la segunda guerra mundial, hace necesario a veces el refuerzo del firme antiguo, aunque éste se conserve bien, para hacer frente a las nuevas circunstancias de carga, así como también su ensanche con firme nuevo del espesor necesario para alojar al mayor volumen de tráfico afluente.

Esto hace que la operación conjunta ensanche-refuerzo, cobre gran interés en los países en que las circunstancias se hallen maduras para su aplicación y que haya surgido una técnica detallada y específica para realizarla.

## 2. Espesor necesario

Todos los métodos de dimensionamiento de firmes rígidos se fundan en el estudio original de Westergaard, en el cual se demuestra que la resistencia del firme a la flexión aumenta

con su momento resistente transversal. Al hallarnos aquí en presencia de una sección formada por dos capas (fig. 1), el módulo total puede tomarse proporcional a:

$$h^2 = (h_1 + h_2)^2, \quad \text{[I]}$$

o bien a:

$$h^2 = h_1^2 + h_2^2, \quad \text{[II]}$$

según se admita o no la transmisión de esfuerzos cortantes a través de la sección  $a-a'$ ; en una palabra, que el firme antiguo colabore o no con el nuevo, solidarizándose con él.

En la práctica, se ha llegado experimentalmente a la conclusión de que "in medio veritas", adoptándose el criterio:

$$h^n = h_1^2 + Ch_2^2. \quad \text{[III]}$$

La introducción de estos coeficientes correctivos,  $n < 2$  y  $C \leq 1$  se explica como sigue:

a) Debido a que el firme antiguo ha experimentado ya toda su retracción, mientras que el nuevo tiene que hacerlo, la solidarización de los dos firmes conduce a coartar la retracción de este último, con la consiguiente penalización del momento resistente, cuyo exponente en vez de 2 pasa a valer 1,87\*.

b) Se toma en cuenta el estado de conservación del firme antiguo por medio del coeficiente  $C$ ; cuyos valores aproximados se pueden tomar iguales a:

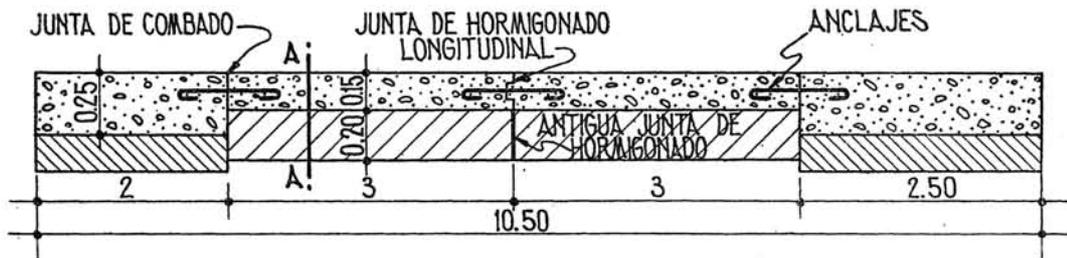
1. —Cuando el firme antiguo está bien conservado y no necesita más que un refuerzo para hacer frente al aumento de cargas del tráfico en estos últimos años.

0,75.—Cuando los defectos son localizados (algunas fisuras o esquinas agrietadas).

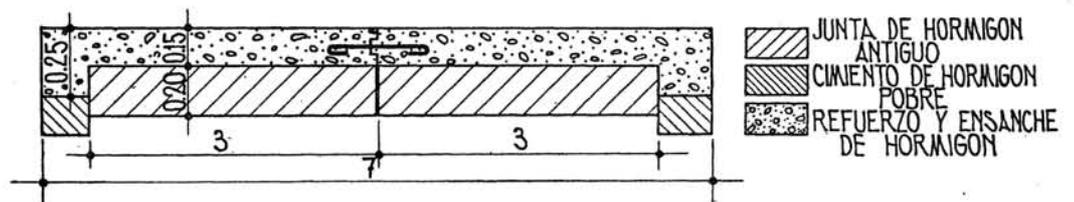
0,35.—Cuando el estado general es malo y la fisuración está extendida a todo el firme.

En el caso de Bélgica, en que el firme antiguo suele tener un espesor de 20 cm, mientras que modernamente tiene 23 cm, el recargo necesario en el caso más desfavorable es de 15 cm. Con los espesores usuales, el espesor de refuerzo necesario para que un firme muy deteriorado ( $C = 0,35$ ) equivalga a un firme de nuevo establecimiento del mismo espesor que el antiguo, es de  $0,6 h_2$ . Es evidente el ahorro introducido, no sólo en el material (40 % del total), sino en operaciones de demolición y nuevo acondicionamiento.

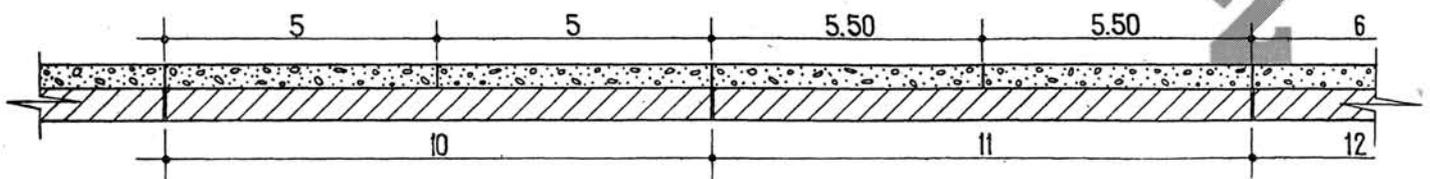
Lovaina-Diest



sección transversal, refuerzo y ensanche



sección transversal, refuerzo



sección longitudinal

### 3. Colaboración entre el firme antiguo y el nuevo

Dos posturas opuestas pueden adoptarse ante este problema:

- a) Garantizar la transmisión de esfuerzos cortantes entre una losa y la subyacente.

*Ventajas* = El espesor necesario para el nuevo firme es menor (fórmula I) y ahorro de capa aislante intermedia.

*Inconvenientes* = Limitación de la retracción del firme nuevo, lo cual produce la "transmisión" de las fisuras del firme antiguo al nuevo.

*Medios para conseguirlo* = Es fundamental la perfecta limpieza del firme antiguo.

Las partes descarnadas y las capas asfálticas—si no son de mucho espesor, en cuyo caso consideraciones económicas podrían llevar a pensar en la solución b)—se eliminan por medios mecánicos (escarificado, chorro de arena). Las manchas de aceite se ablandan con detergentes adecuados, y, por fin, se termina con una aplicación de ácido clorhídrico comercial diluido que elimina la lechada superficial. Tras humedecer convenientemente el firme antiguo, se puede colocar una capa de mortero cuya dosificación de cemento no es excesivamente importante (300 a 600 kg/m<sup>3</sup>).

- b) Garantizar la independencia entre los dos firmes por medio de una capa interpuesta, generalmente de tarmacadam u otro producto bituminoso. Las ventajas e inconvenientes de esta solución son exactamente las contrarias a las de la solución a).

Ambas soluciones tienen sus partidarios, inclinándose los norteamericanos por la primera, y los ingleses por la segunda. En Bélgica se están llevando a cabo ensayos comparativos—que describiré más adelante—, pero el comportamiento parece análogo en uno y otro caso.

### 4. Juntas y armaduras

El criterio de disposición de juntas depende fundamentalmente de la solución adoptada frente al dilema de la solidarización entre el nuevo y el antiguo firme.

- a) Si, como preconiza la técnica americana, se procura por todos los medios la colaboración entre los dos firmes, he dicho ya que esto comporta el riesgo de transmisión de las fisuras del viejo firme al nuevo. Resulta entonces provechoso el colocar una junta de contracción en correspondencia de cada una de estas fisuras.

En efecto, ensayos anteriores sin juntas de retracción demostraron que el nuevo firme se agrietaba regularmente cada 6 ó 7 metros, en correspondencia con una fisura del antiguo. Esto hace que, en la práctica, las juntas del refuerzo se deban disponer a una distancia de 5 ó 6 metros, procurando que coincidan con las fisuras subyacentes.

El elevado número de juntas que resulta hace que éstas deban ser de tipo "ciego", o continuas; aunque se puede profundizar más la entalla superior, por ejemplo cada cinco losas, para uniformar el reparto de microfisuras.

Sin embargo, si el firme antiguo estuviese muy deteriorado, no resulta económico disminuir a menos de 5 metros la distancia entre juntas de contracción para que cada una corresponda a una fisura del firme antiguo. En este caso, resulta mejor disponer una armadura ligera en la losa (unos 2 a 3 kg/m<sup>2</sup>) un poco por debajo de la superficie del firme, con objeto de reducir la fisuración a límites despreciables desde el punto de vista de la rodadura y la protección de las armaduras.

\* Esta fórmula no exige una adherencia perfecta entre las dos losas; basta que exista entre ellas un rozamiento apreciable.



Fig. 6.—Vertido del hormigón en la repartidora.

Las juntas de dilatación siguen la tendencia moderna de quedar reducidas a las necesarias en las obras de fábrica encontradas, y todo lo más a fin de jornada, como juntas de hormigonado. Llevan pasadores metálicos; al contrario que las de contracción, en que se suelen suprimir.

b) La técnica británica de independencia completa entre los dos firmes, deja reducido el problema de las juntas y armaduras en el nuevo firme al que se presenta en un firme al primer establecimiento; resolviéndose como tal, con el procedimiento habitual para estos casos. Igual sucede con las juntas longitudinales que, sin embargo, deben coincidir con las correspondientes del firme antiguo.

## **5. Ensanche de la calzada**

Una de las principales ventajas del aprovechamiento del firme antiguo, es el poder efectuar simultáneamente las operaciones de refuerzo y ensanche del tramo afectado.

Pero es evidente que la sustentación del ensanche, que forzosamente ha de ser de primer establecimiento, resultará diferente de la del refuerzo, constituida por el firme antiguo y la base subyacente perfectamente consolidada a través de los años.

De ellos deriva la necesidad de:

a) Reducir al mínimo esta diferencia (del módulo de reacción, en definitiva), disponiendo bajo el ensanche una base sólida y cuidada; por ejemplo: de hormigón pobre o suelo-cemento.

Fig. 3.—Preparación del encofrado.

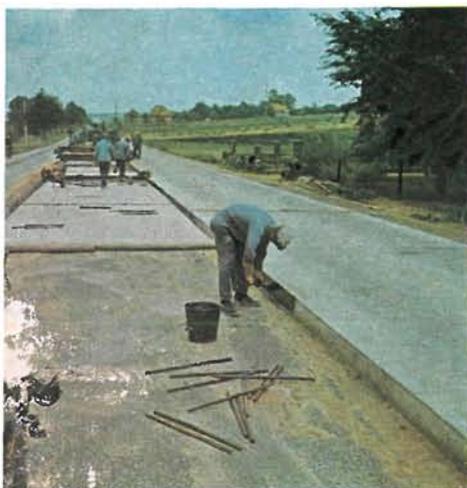


Fig. 4.—Cuna para pasadores.

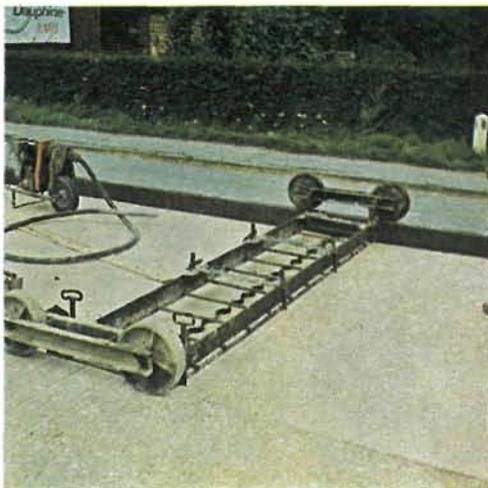


Fig. 5.—Llegada del camión del hormigón.



Fig. 10.—Colocación de la armadura.



Fig. 11.—Parte delantera de la primera extendidora.

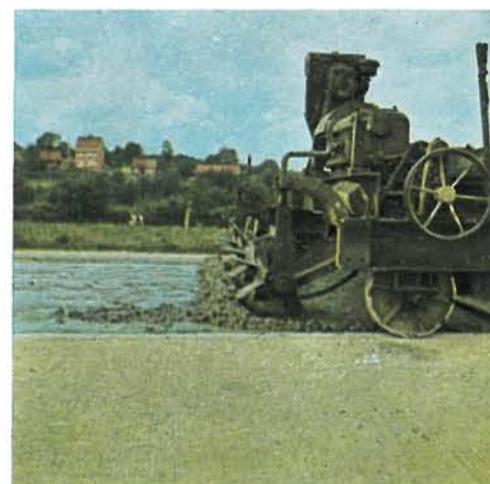


Fig. 12.—Parte delantera de la segunda extendidora.

b) Evitar el peligro de una fisuración irregular por esfuerzo cortante entre el refuerzo y el ensanche. Esto lleva a que si el ensanche es importante (más de 75 cm), se debe disponer una junta ciega longitudinal entre el mismo y el refuerzo para localizar dicha fisuración. Esta junta debe ir provista de barras de anclaje, con objeto de evitar toda desnivelación entre sus labios. También es conveniente profundizar algo más la entalla de las juntas transversales de contracción, con el fin de evitar esfuerzos cortantes horizontales.

Los ensanches suelen tener un espesor un poco superior al que correspondería a un firme de primer establecimiento.

## 6. Ejecución material - Ensayos belgas

Durante el verano de este año se ha aprovechado el refuerzo y ensanche de un tramo de la carretera de Lovaina a Diest, en Bélgica, para experimentar las dos técnicas de solidarización e independencia de los dos firmes.

Fig. 7.—Hormigonado de la junta.

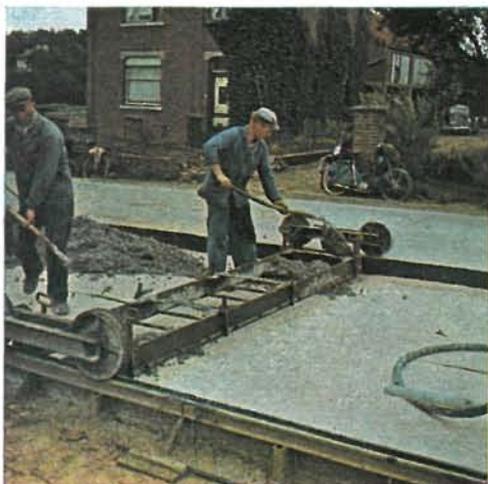


Fig. 8.—Vibrado de la junta.

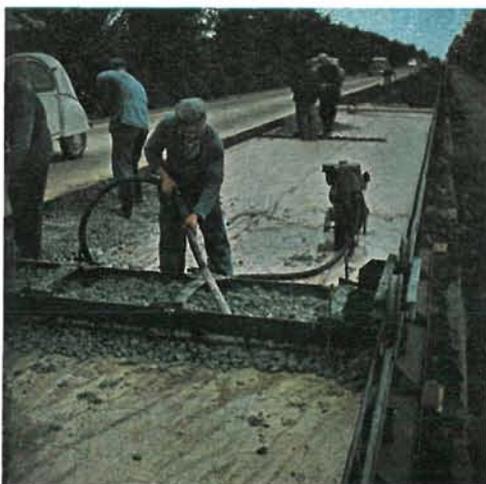


Fig. 9.—Repartidora.



Fig. 13.—Parte trasera de la primera vibradora.



Fig. 14.—Parte trasera de la segunda vibradora.

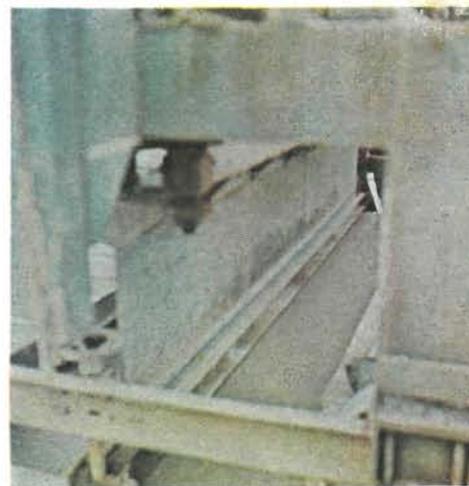


Fig. 15.—Cuchillo para junta.

Se han dispuesto diversos tramos con y sin solidarización, con y sin armaduras, con y sin dispositivos de anclaje longitudinal.

En ciertos puntos, debido al pésimo estado del firme antiguo, por falta de una base adecuada, se ha hecho necesario levantar todo el firme y disponer un cimiento de suelo-cemento.

La ejecución de estas obras constituye un espléndido ejemplo de la técnica belga de construcción de carreteras, mereciendo la pena detallarla en sus diferentes fases.

## Composición del hormigón

Se ha adoptado la granulometría continua 0 a 40 mm de uso muy corriente en dicho país para construcción de carreteras. Siendo el espesor del refuerzo de 15 cm, se ve que el tamaño máximo del árido no llega al cuarto de dicho espesor. La dosificación es como sigue:

	Por metro cúbico
Cemento Portland de alta resistencia o Alto Horno.	400 kg
Arena < 2 mm.	400 kg
Gravilla porfídica 2 a 8 mm.	400 kg
Gravilla porfídica 8 a 22 mm.	400 kg
Grava porfídica 22 a 110 mm.	800 kg
Agua (según condiciones atmosféricas).	80 a 100 l

Llama la atención la reducida cantidad de agua empleada

$$\left[ \text{relación} \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = 0,20 \text{ a } 0,25 \right]$$

Esto tiene la explicación de que al constituir el fondo de la caja la superficie del antiguo firme, la pérdida de agua por infiltración en el cimiento es prácticamente nula, lo cual permite esa drástica reducción. Sin embargo, la maquinaria empleada S. G. M. E. consigue una perfecta compacidad del hormigón, incluso en los bordes de la losa, en que el "efecto pared" del encofrado se deja sentir con más fuerza.

La central de hormigonado se halla sita en la estación de Diest, con un recorrido máximo de 11 km, por la misma carretera, en la que, sin embargo, no se ha interrumpido el tráfico. Este es tan intenso, que la obtención de las fotografías que ilustran la ejecución ha sido para mí un riesgo con el que no contaba...

Las secciones transversal y longitudinal del firme, con refuerzos y ensanches, se indica en la figura 2. El avance se realiza a un ritmo diario de 400 m<sup>2</sup>, vía por vía, para no interrumpir el tráfico más que cuando llega el camión con el hormigón.

El encofrado se ha dispuesto previamente, con la rasante y alineación precisas; extendiéndose después en el fondo de la caja un papel fuerte, que evite la contaminación del hormigón fresco por el cimiento y la infiltración del agua (ya muy reducidas, como antes dije, por el carácter del cimiento, en el caso de que éste sea un firme antiguo). Un peón va pintando con alquitrán (fig. 3) tanto el encofrado como la losa adyacente si existe (que sirve, claro está, de encofrado), con el fin de evitar la adherencia y formar una junta de combado-hormigonado longitudinal discontinua.

Otro peón va disponiendo las juntas transversales sobre el fondo de la caja, ya cubierto por un papel. Las juntas transversales son del tipo utilizado también en la autopista Amberes-Lieja (ver INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN, núm. 125), o sea, del llamado contracción-combado continuas, con sellado tipo "holandés" por fieltro asfáltico, y provistas de pasadores. Su distancia es de 6, 7, 8 y 9 m con una junta de dilatación cada 60 m, también como las utilizadas en la autopista.

Los pasadores son colocados por medio de una "cuna" rodante sobre los encofrados (fig. 4).

El camión que trae el hormigón se coloca junto a la máquina repartidora (fig. 5), y, tras bascular lateralmente casi todo su contenido en la tolva múltiple de la misma (fig. 6), deposita el resto en las proximidades de la junta.

Un equipo de tres peones lo palean hasta cubrir la junta (fig. 7), compactándolo por medio de un vibrador de aguja portátil (figura 8). La altura del montón resultante es sensiblemente inferior a la rasante.

La máquina repartidora (fig. 9), compuesta por una tolva múltiple, larga y estrecha, se desplaza transversalmente al firme sobre un bastidor que, a su vez, avanza sobre los encofrados. Su altura es regulable para fijar adecuadamente la rasante. Tres peones atienden a su manejo y a la descarga total de camiones.

Cuando el firme va armado con una malla electrosoldada, esta máquina efectúa una primera pasada que deja el hormigón con la mitad de su espesor total. Entonces se coloca la armadura, que viene en tramos ya prefabricados (fig. 10), y se da una segunda pasada, cubriendo el espesor total.

A continuación pasan las máquinas extendedoras, en número de dos (igual que en la autopista Amberes-Lieja), para evitar el tener que dar dos pasadas. En su parte delantera llevan un eje con paletas (fig. 11), que van barriendo el hormigón hacia adelante y fijan una rasante provisional (fig. 12); mientras que en su parte trasera va una viga metálica vibrante (fig. 13), que efectúa la compactación de todo el espesor hasta que refluye la lechada incluso en un hormigón tan seco (fig. 14).

Como las máquinas extendedoras-vibradoras van espaciadas unos 8 m, antes de que acabe de pasar la segunda ha habido tiempo de rectificar cualquier error y de aportar hormigón allí donde faltase.

Por último, la entalla superior de las juntas de contracción-combado se efectúa por medio de un cuchillo vibrante, según el método utilizado en la autopista (ver INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN, núm. 125) de Amberes a Lieja. Un fieltro asfaltado es arrastrado, doblado, por el cuchillo (fig. 15), apisonándose cuidadosamente la junta a un lado y al otro (fig. 16) por medio de una regla, y terminándose el trabajo con una llana (figura 17). La máquina va atendida por dos peones.

Al avanzar el bastidor del cuchillo, un peón, provisto de un cepillo de púas metálicas, va barriendo desde una pasarela la superficie del firme terminado, con objeto de conferirle una textura rugosa (fig. 18).



Fig. 16.—Apisonado de una junta de contracción-combado.

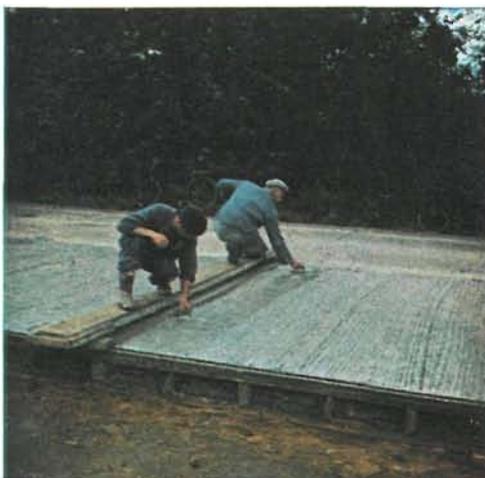


Fig. 17.—Alisado de una junta de contracción-combado.

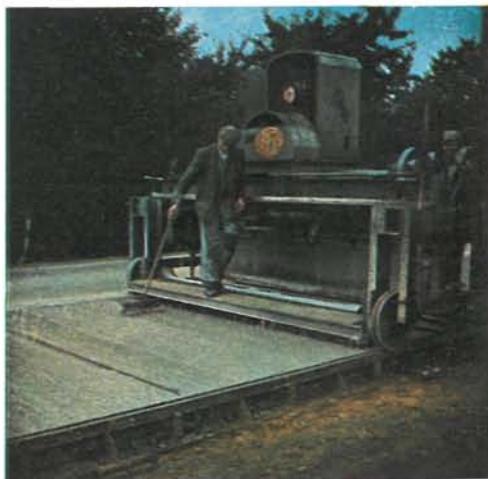


Fig. 18.—Barrido superficial del firme.



Fig. 19.—Sierra para juntas longitudinales.



Fotos: SANDRO ROCCI

Luego se extiende, por pulverización, sobre la superficie, un producto de curado, de color oscuro. Y, finalmente, cuando el hormigón ha fraguado y endurecido, una sierra (fig. 19) va abriendo una ranura en las juntas longitudinales, para delimitarlas claramente, sellándolas después con un producto bituminoso.

El firme queda con aspecto inmejorable, y hasta el presente no se han observado fisuras en él.

Deseo agradecer a M. P. Dutron, del Centre d'Information de l'Industrie Cimentière Belge, así como a M. Hofmans, del mismo Centro, su amabilidad al facilitarme información y acceso a las obras.