



**la experiencia belga
en la construcción y reparación
de carreteras de hormigón**

ALVARO GARCIA MESEGUER y RAFAEL PIÑEIRO ABRIL
ingeniero de caminos aparejador

sinopsis

Siendo Bélgica uno de los primeros países europeos en la construcción de pavimentos de hormigón (tanto por la tradición que en él tiene este tipo de firmes como por la extensión de su red y la modernidad y originalidad de sus técnicas), nos ha parecido interesante redactar un bosquejo histórico de las realizaciones belgas en este campo y resumir las principales conclusiones a las que conduce la experiencia de dicho país, tanto en lo relativo a construcción como a reparaciones.

Desde el punto de vista cronológico la historia de las carreteras belgas de hormigón se puede dividir en tres grandes etapas, perfectamente diferenciadas por las características propias de las realizaciones llevadas a cabo en cada una de ellas.

Estas tres etapas son las siguientes: 1.^a Anterior al año 1930; 2.^a De 1930 a 1955; 3.^a A partir de 1955.



Fig. 1.—Grietas en una carretera antigua, originadas por la falta de juntas.

Primera etapa: Anterior al año 1930

Durante este primer período las realizaciones son poco numerosas y en ellas se utilizan diversos procedimientos, muchos de ellos patentados (Rhbenite, Soliditit, etc.). Hablando en términos generales puede decirse que estos pavimentos estaban constituidos por losas de hormigón francamente delgadas, de unos 10 cm de espesor, aproximadamente, colocadas sobre un empedrado utilizado como base y de perfil bombeado. Las losas se fabricaban con un hormigón muy rico en cemento (unos 500 kg/m³, aproximadamente), sin juntas longitudinales y con juntas transversales cada 10 ó 15 m. La falta de juntas en el eje de la carretera originaba una amplia fisuración longitudinal, como puede apreciarse en la figura 1.

Este período, que corresponde a la "prehistoria" de las carreteras de hormigón, no ofrece mayor interés ni exige más comentarios.

Segunda etapa: De 1930 a 1955

A esta etapa corresponde el verdadero nacimiento de los pavimentos de hormigón, con éxito notable. En la figura 2 se ha dibujado un gráfico con la estadística de los metros cuadrados de carreteras de hormigón existentes en Bélgica, en los distintos años, desde 1930 a 1960. Según se deduce de dicho gráfico, partiendo prácticamente de cero en 1930, se llega al final de los veinticinco años de esta etapa a una superficie total de más de 30 millones de metros cuadrados de pavimentos de hormigón, de los cuales un poco menos de la mitad corresponde a carreteras nacionales y el resto a carreteras provinciales y comarcales.

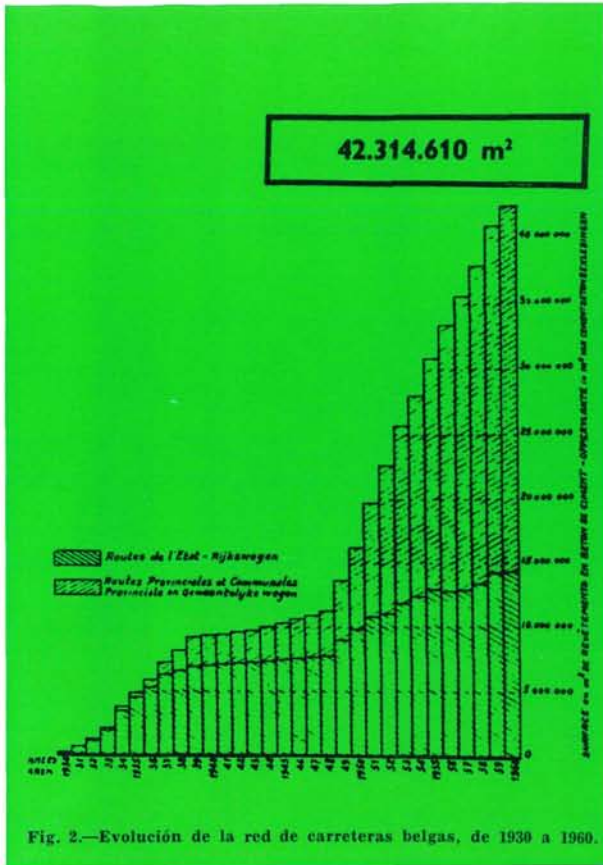
Se aprecia un rápido crecimiento inicial hasta el año 1939, seguido de un período de casi completa inactividad durante los años 1939 a 1948, correspondientes a la guerra y post-guerra. A partir de este último año el crecimiento

vuelve a ser rápido, manteniéndose más o menos constante hasta 1960, último año incluido en esta estadística y en el cual se sobrepasan los 42.300.000 metros cuadrados.

Durante los veinticinco años que constituyen esta segunda etapa, la técnica utilizada en la construcción de los pavimentos de hormigón es siempre la misma. Para la fabricación del hormigón se emplean dos tipos de granulometría: una continua (tipo A) y otra discontinua (tipo B), cuyo detalle se indica a continuación:

	Granulometría continua Tipo A	Granulometría discontinua Tipo B
Cemento	400 kg	350 kg
Arena	270 l	400 kg
Gravilla 2/8	270 l	—
Gravilla 8/16 (ó 4/8)	—	500 kg
Gravilla 8/22	270 l	—
Grava 22/40	540 l	—
Grava 40/63	—	1.170 kg

Con estas granulometrías se obtienen hormigones cuyas resistencias oscilan desde los 600 hasta los 1.000 kg/cm² cuadrado.



El espesor de las losas empieza variando entre los 18 y 23 cm y, posteriormente, se estabiliza entre los 20 y 23 cm, que coincide con el normalmente utilizado en la mayor parte de los países europeos*.

La anchura de las losas varía entre los 3 y 4,50 metros, colocándose dos losas paralelas para alcanzar los 7,50 m del ancho total ordinario de la carretera. La longitud suele estar comprendida entre 10 y 15 m, disponiéndose entre ellas juntas de dilatación, sin pasadores ni armadura de ninguna clase.

¿Cuáles son las causas que influyeron en el rápido desarrollo y aceptación de este tipo de pavimento? Indudablemente ello se debe al excelente comportamiento de los firmes así construidos hasta el año 1950 (fig. 3), y este buen comportamiento se justifica por las siguientes razones:

- 1.ª Estos pavimentos se construían con los mismos trazados de las anteriores carreteras y sobre sus propias bases; las cuales, por consiguiente, se encontraban perfectamente compactadas.
- 2.ª La circulación, al principio relativamente pequeña, fue aumentando de un modo lento y progresivo, por lo que el incremento de las sobrecargas y, en consecuencia, de las tensiones a que resultaba sometido el hormigón, se hizo, de un modo gradual, muy conveniente. A partir del año 1950 el comportamiento ya fue francamente peor, y ello debido a las siguientes causas:

- 1.º Como consecuencia del ensanchamiento de la calzada y de las rectificaciones en el trazado de las carreteras, los pavimentos se construyeron sobre bases de insuficiente resistencia.
- 2.º La circulación era muy intensa desde el instante mismo en que la carretera entraba en servicio, por lo que el hormigón se encontraba bruscamente sometido a fuertes tensiones, con detrimento de su resistencia.

El mal comportamiento de estas carreteras construidas entre los años 1950 y 1955 se caracterizaba especialmente por una desnivelación de las losas en las juntas que, como se ha indicado, no llevaban pasadores ni armadura. Como resultado de esta desnivelación, las losas se fisuraban transversalmente en las proximidades de dichas juntas.

Tercera etapa: De 1955 en adelante

Esta última etapa se caracteriza, fundamentalmente, por las experiencias y estudios realizados con el fin de encontrar soluciones satisfactorias a los defectos de la etapa anterior. Estos estudios se orientan en dos direcciones principales:

- 1.ª Características que debe poseer un buen cimientto.
- 2.ª Características que debe poseer un buen pavimento rígido.

Dentro de esta última dirección se estudian los tres tipos fundamentales de pavimentos rígidos, es decir, los de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón pretensado.

* Véase el Pliego P. R. 63, del I. E. T. c. c.



Fig. 3.—Pavimento urbano de construcción antigua.

Según informe presentado por P. Dutron y R. Caignie al XII Congreso de la "Association Internationale Permanente des Congrès de la Route", celebrado en Nueva Delhi en el año 1963, la actual técnica belga en materia de cimentación de pavimentos rígidos es la siguiente:

En el caso de autopistas y carreteras principales, el pavimento de hormigón, normalmente de 23 cm de espesor, se coloca, en general, sobre una base que puede ser:

1) *De suelo estabilizado* (la estabilización suele hacerse con cemento) de 15 cm de espesor. A los catorce días, este suelo estabilizado debe poseer un índice CBR comprendido entre el 100 y el 300 por 100. Las nuevas Normas de la Dirección General de Carreteras de Bélgica * admiten también el ensayo de resistencia con placa de 200 cm². En este caso, prescriben que los valores del módulo de compresión M_E del cimiento deben estar comprendidos entre 1.150 y 3.500 kg/centímetro cuadrado;

2) *De hormigón magro*, de 15 cm de espesor también. El criterio de calidad se basa entonces en la resistencia en compresión medida a los cincuenta y seis días sobre probetas cilíndricas, de 10 cm de altura y 100 centímetros cuadrados de sección, sacadas del propio cimiento. La resistencia media de estas probetas debe ser de 100 kg/cm², como mínimo, y los resultados individuales deberán estar comprendidos entre 75 y 175 kilogramos/cm². Debe señalarse que entre el hormigón de la base y el del pavimento se interpone una capa, de 1 a 5 cm de espesor, de producto bituminoso destinada, fundamentalmente, a absorber los efectos de las variaciones higrotérmicas;

3) Modernamente se utilizan también bases mixtas constituidas por una primera capa de adoquinado clásico recubierta de una segunda capa de material bituminoso aplicado en caliente. El espesor de la base, en este caso, es variable y depende de la naturaleza y la capacidad resistente del suelo. En general, este espesor varía entre 25 y 50 centímetros.

Normalmente, la base se construye sobre una sub-base de drenaje con un coeficiente de permeabilidad, determinado en laboratorio, de 0,01 cm/seg. Esta sub-base debe tener un espesor mínimo de 20 cm y se exige que la parte superior de esta capa de drenaje posea un índice CBR no inferior al 15 por 100 ó que, sometida al ensayo de resistencia con placa de 200 cm², dé un valor para el módulo M_E igual o superior a 170 kg/centímetro cuadrado.

En relación con el pavimento propiamente dicho, conviene estudiar por separado cada uno de los tres tipos que cabe distinguir, es decir: pavimento de hormigón sin armadura; pavimento de hormigón armado, y pavimento de hormigón pretensado.

Pavimentos de hormigón sin armadura

Las mejoras conseguidas en este tipo de pavimento se deben, especialmente, a los nuevos criterios establecidos para la construcción de juntas y, por otra parte, a la utilización de adecuados dispositivos para la transmisión de cargas entre losas adyacentes.

Analicemos separadamente los distintos tipos de juntas:

Juntas longitudinales

La experiencia belga en la materia, no muy amplia, pero sí suficientemente convincente, se basa en el excelente comportamiento, desde el año 1950, de un tramo de varios kilómetros de la autopista Bruselas-Ostende, construido con losas de hormigón sin armar, de 7 m de ancho, sin junta longitudinal. Tal hecho parece demostrar que estas juntas no son indispensables, al menos en losas cuya anchura sea de este orden de magnitud y construidas con pendiente uniforme. Tampoco parece necesario reforzar el centro de estas losas de gran anchura con barras de anclaje para prevenir una posible fisuración longitudinal.

Debe señalarse, no obstante, que esta técnica todavía no ha sido admitida en la práctica y que el ancho normal que se sigue dando a las losas oscila entre 3 y 3,75 m, llegándose, excepcionalmente, hasta 5,25 metros.

Juntas transversales

El grupo de trabajo belga que asistió al X Congreso de la A.I.P.C.R., celebrado en Bruselas en 1962, realizó un detenido estudio sobre numerosas carreteras de hormigón, de carácter experimental, existentes en el país, examinando su comportamiento y deduciendo una serie de conclusiones, claras y concretas, en relación con la anchura y longitud de las losas, es decir, con el tipo y separación de las juntas longitudinales y transversales.

Dentro de estas juntas transversales conviene tratar separadamente las de dilatación y las de retracción.

Juntas transversales de dilatación

A partir de 1954 se iniciaron en Bélgica ensayos para comprobar si era posible reducir el número de juntas de dilatación. Con este objeto se fue aumentando, progresivamente, la distancia entre dichas juntas, disponiéndolas primero cada 100 m (carretera de Mons-Ath a Brugelette); después, cada 300 m, aproximadamente, que es la longitud que, más o menos, corresponde con el trabajo de una jornada, y, finalmente, cada 1.000 m (autopista Amberes-Lieja). Como quiera que todos estos pavimentos se han venido comportando perfectamente desde su construcción, se decidió suprimir totalmente las juntas de dilatación (incluso para las juntas de hormigonado de fin de jornada) y desde 1960 a 1963 se construyeron 14 km más de la autopista últimamente citada, con arreglo a

* «Cahier des Charges — type, núm. 108», de 1961, aplicable a las obras realizadas en las carreteras del Estado.

esta técnica, habiéndose obtenido, como en los casos anteriores, un pleno éxito.

A consecuencia de estos resultados, en el X Congreso Belga de la Carretera, celebrado en junio de 1962, se aprobó la siguiente conclusión: "Las juntas de dilatación se consideran como totalmente superfluas, excepto en ciertos lugares especiales, como, por ejemplo, limitando las obras fijas (puentes, registros, etcétera), en los cruces, en las curvas de pequeño diámetro, cuando cambia el tipo de pavimento, etc."

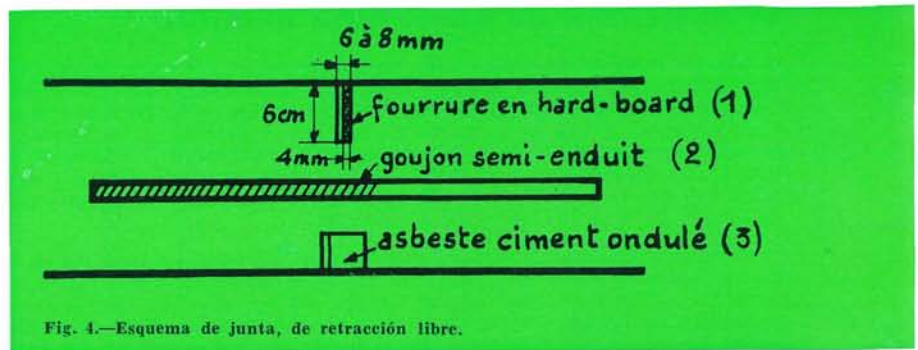


Fig. 4.—Esquema de junta, de retracción libre.

De acuerdo con esta conclusión, las juntas de dilatación han sido reemplazadas por juntas de retracción, dispuestas a una distancia media de 10 metros.

Juntas de retracción

Todas las juntas transversales de retracción llevan dispositivos para la transmisión de cargas entre losas adyacentes, las cuales pueden ser pasadores o barras de anclaje. Estas juntas se construían en el hormigón fresco y no por aserrado del hormigón ya endurecido, como es práctica normal en otros países. Pero este procedimiento presentaba dos inconvenientes: 1.º Una extraordinaria complicación en la ejecución de la junta, que exigía la realización de delicados trabajos manuales para su perfecto acabado. 2.º Que las juntas no se abrían por igual, sino que una, de cada tres o cuatro, se abría mucho más que las otras, con lo cual, en las que se abrían mucho, la protección proporcionada por el fieltro asfáltico utilizado como material de relleno, en sustitución del producto de selladura elástico, resultaba insuficiente.

Para evitar estos inconvenientes se ha recurrido, después de una serie de ensayos en los cuales se han logrado resultados plenamente satisfactorios, a la siguiente solución:

- 1.º Sustituir la plancha de fieltro asfáltico sobresaliendo de la superficie del pavimento por un material más rígido, enrasado con la superficie y utilizando máquinas acabadoras longitudinales u oblicuas.
- 2.º Emplear dos tipos distintos de juntas de retracción:

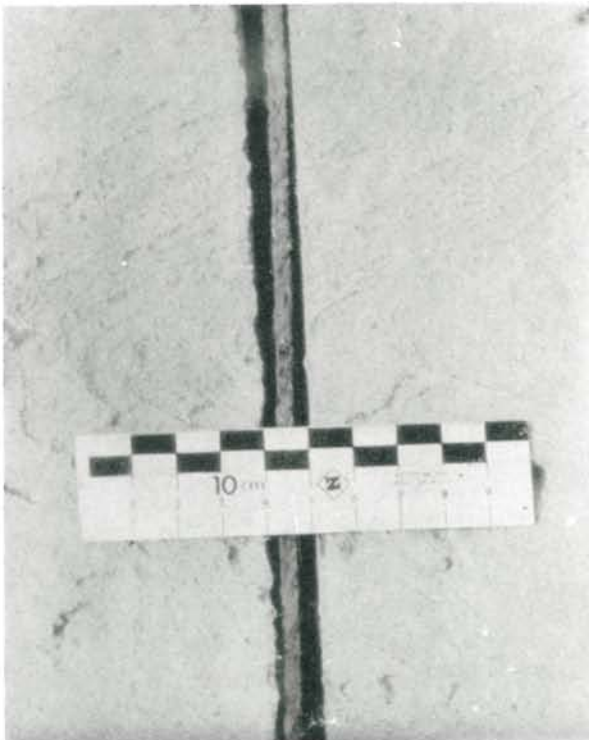


Fig. 5.—Junta de retracción libre.

- a) Una junta de retracción, denominada "libre", cada 30 ó 40 m y provista de pasadores que, al deslizar, permiten los movimientos de retracción y contracción térmica del hormigón (fig. 4). Las juntas de este tipo, como están destinadas a abrirse, van selladas. En la figura 5 puede verse una junta libre abierta;
- b) Entre las juntas del tipo "libre" se intercala, cada 7,5 m, otro tipo de junta de retracción provisto de barras de anclaje (fig. 6). Estas juntas se denominan "juntas de flexión ancladas" y están concebidas para que, prácticamente, no se abran, pero que, funcionando como articulaciones, reduzcan las tensiones de flexión originadas por las variaciones diarias de la temperatura. Como consecuencia, no necesitan rellenarse con ningún material de selladura y llevan simplemente un biselado en los bordes superiores.

Como ya se ha indicado, los ensayos realizados para experimentar esta nueva disposición de las juntas transversales han dado unos resultados que pueden calificarse de excelentes. Según el informe emitido sobre el particular por M. Sion, las juntas se comportaron exactamente como se esperaba, es decir: todas las juntas libres se abrieron, con perfecta regularidad, 1 cm aproximadamente, mientras que, por el contrario, las "juntas de flexión ancladas" se mantuvieron casi cerradas. Estos ensayos fueron efectuados en 1961 sobre la autopista Amberes-Lieja.

Pavimentos de hormigón armado

El primer tramo experimental belga de pavimento de hormigón armado es el de Leuze, construido entre los años 1950-1951. Forma parte de la red principal de carreteras y, por consiguiente, está sometido a intensa circulación. Es un tramo continuo, sin juntas transversales, de 584 m de longitud y 9 m de anchura. Está constituido por dos losas contiguas, de 4,5 m de anchura cada una, separadas por una junta longitudinal y que descansan sobre una base de hormigón pobre de 15 cm de espesor. El espesor de las losas es de 20 cm, y llevan una armadura longitudinal situada a una distancia de la cara superior, igual al tercio del espesor de la losa. Esta armadura es de acero liso de 40 kg/mm² de límite elástico. La cuantía de armaduras en una de las bandas de losas es igual al 0,3 por 100, y en la otra es del 0,5 por 100.

Después de doce años de servicio el estado de fisuración del tramo se ha estabilizado (fig. 7), permaneciendo desde entonces prácticamente invariable. Los trozos extremos del tramo, en una longitud de 50 a 60 m, no se han fisurado. En la banda de losas con un 0,3 por 100 de armaduras las fisuras son poco numerosas, unas 40, con una separación media, entre ellas, de 15 m y una anchura que llega al centímetro. Las armaduras aparecen cortadas en las fisuras de mayor anchura. En la banda armada con el 0,5 por 100, en cambio, las fisuras son mucho más numerosas (unas 140) y separadas entre sí de 4 a 5 m; por consiguiente, son mucho más finas que en la otra banda.

Su abertura oscila entre 0,5 y 1 milímetro.

En conjunto, el pavimento se conserva en un estado muy satisfactorio y con una notable regularidad de superficie. No se observa ninguna desnivelación entre labios de fisuras ni aun en aquellos casos en los que se ha roto la armadura.

Estos satisfactorios resultados dieron lugar a dos tipos de aplicaciones distintas:

1. Aplicación sistemática de las losas armadas continuas a las pistas militares destinadas a la circulación de tanques con orugas. El Ministerio de Defensa Nacional llegó a la siguiente conclusión: que la presencia de las juntas transversales en los pavimentos resultaba inaceptable para el tráfico de los tanques. En efecto, las orugas de estos vehículos, al atravesar una junta muerden los labios de ésta, arrancando, primero, el material de selladura, descantillando después los bordes y destruyéndolos más tarde, progresivamente, llegando, con el tiempo, a crear un surco, de sección triangular, que puede alcanzar, en la superficie de la losa, una anchura de medio metro y una profundidad de 5 centímetros.

La primera pista de este tipo, la de Zonhoven, se construyó en 1959. Consta de una losa continua de hormigón armado, sin juntas transversales, con una longitud total de 1.231 m, de los cuales 907,5 metros son de trazado recto, y los 323,5 metros restantes, de trazado curvo, y de 41 m de radio interior. La losa tiene 23 cm de espesor y descansa directamente sobre el terreno, que es un suelo arenoso. La anchura total es de 9 m, divididos en dos bandas de 4,5 m, separadas por una junta longitudinal. La cuantía de armadura es del 0,32 por 100, de acero liso, inferior a la de la banda más armada del tramo experimental de Leuze; pero debe tenerse en cuenta que esta diferencia resulta compensada con el mayor límite elástico del acero utilizado, que en esta pista es de 60 kg/mm² frente a los 40 kg/mm² del acero empleado en Leuze.

Esta armadura, colocada a 5 cm por debajo de la superficie de rodadura, está constituida por mallazos, de 7 m de longitud, formados por:

- barras longitudinales de \varnothing 12, cada 15 cm;
- barras transversales de acero A 37 y \varnothing 6, cada 40 cm, excepto las tres últimas barras de cada mallazo, que van a 20 centímetros.



Fig. 6.—Esquema de junta de retracción con anclaje, sin selladura.

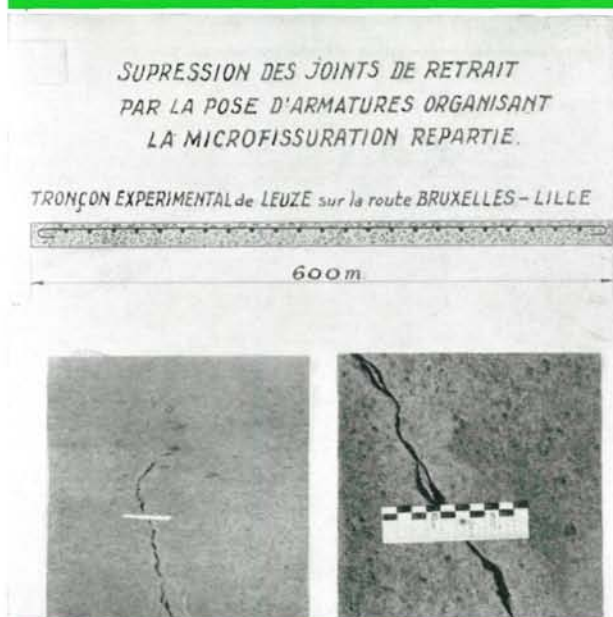


Fig. 7.—Fisuración en el tramo experimental de Leuze (sin juntas transversales).

La armadura longitudinal está constituida por barras de acero TOR, de 42 kg/mm² de límite elástico y 12 mm de diámetro, las cuales se colocan a 9 cm de distancia entre ejes. Su cuantía resulta igual al 0,7 por 100 de la sección de hormigón.

La armadura transversal se reduce a barras de acero ordinario A 37, de 6 mm de diámetro, colocadas a 30 cm de distancia unas de otras.

Todas estas armaduras van situadas al tercio superior del espesor del firme.

Uno de los extremos del tramo se termina en un estribo de hormigón armado. Por el otro extremo enlaza con el firme antiguo mediante una junta elástica capaz de absorber movimientos del orden de los 5 centímetros.

De todo cuanto queda expuesto en relación con los firmes de hormigón armado, parece lógico deducir la conclusión siguiente:

La incorporación al hormigón de armaduras continuas de acero de límite elástico relativamente elevado, preferentemente de superficie corrugada, y en la cuantía mínima apropiada, permite suprimir las juntas de retracción y construir:

- o bien losas que pueden alcanzar los 100 m de longitud entre juntas de construcción y prácticamente sin fisuras;
- o bien losas de longitud ilimitada que presentan un gran número de fisuras, todas ellas muy finas.

Pavimentos de hormigón pretensado

Según queda indicado, la técnica normalmente utilizada en Bélgica para la construcción de carreteras de hormigón se basa en el empleo de losas armadas cuyas dimensiones varían de acuerdo con la disposición de juntas adoptada.

La aplicación del hormigón pretensado a la construcción de firmes puede decirse que, por el momento, ha tenido sólo un carácter experimental. Se llegó a ella buscando, como siempre, un procedimiento adecuado que permita la obtención de un firme con el menor número de juntas posible.

Dos son las principales realizaciones belgas en este campo:

- a) la pista de aterrizaje del aeródromo de Bruselas;
- b) la carretera experimental Zwartberg-Meeuwen.

La pista de aterrizaje tiene una longitud de 3,5 km, 45 m de anchura y 18 cm de espesor.

Como quiera que en ambas realizaciones se ha utilizado la misma técnica, nos limitaremos, a continuación, al estudio detallado de una sola de ellas, la segunda; es decir: la carretera experimental Zwartberg-Meeuwen, en el Norte de Bélgica.

La construcción de esta carretera se inició a finales del año 1959 y se terminó en la primavera de 1960. En la figura 9a puede verse un esquema del conjunto del tramo y en la figura 9b se indican las diferentes variables experimentales estudiadas a lo largo de su trazado.

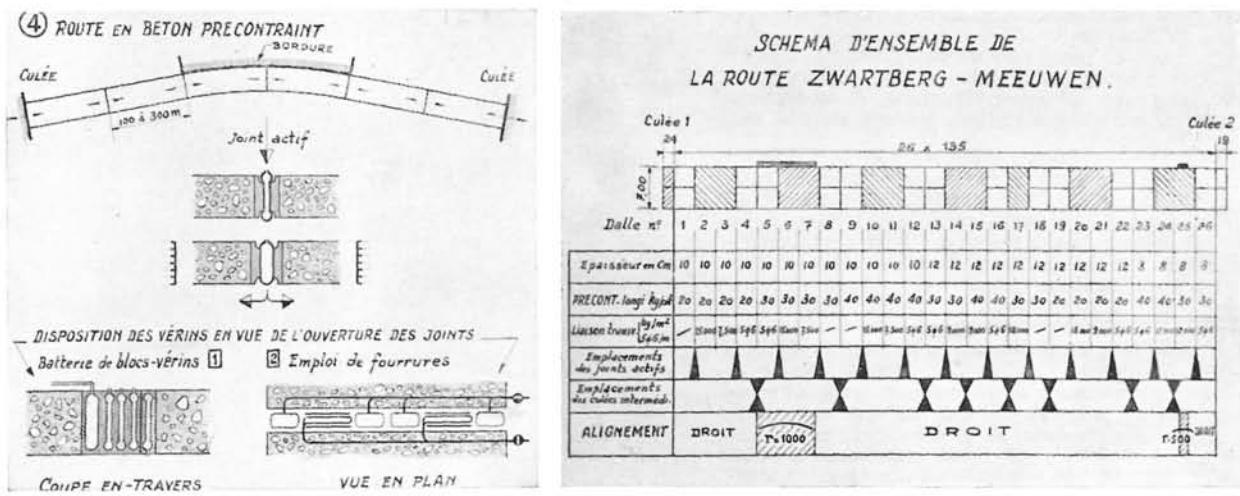


Fig. 9.—Tramo experimental Zwartberg-Meeuwen.

El comportamiento de esta pista ha sido perfecto presentando, como es lógico, características análogas a las del tramo de Leuze. Los trozos extremos, en una longitud de 20 a 30 m, excepcionalmente, pero que, en general, varía entre 40 y 70 m, aparecen sin fisuras. En el resto de las losas las fisuras se presentan, en la parte recta, con una separación de 4,60 a 4,10 m, excepto en la banda izquierda de los 180 m contiguos a la curva, en donde esta distancia es de 8,90 m. En la parte curva, la separación entre fisuras es de 9,15 m en la banda exterior y 13,50 m en la interior;

b Construcción de un tramo de 7,1 km de longitud en la autopista Amberes-Lieja, en 1957. Este tramo está dividido en losas, de 100 m de longitud, separadas por juntas transversales de dilatación, pero sin ninguna junta intermedia de retracción. La longitud de 100 m, adoptada, es consecuencia de la comprobación efectuada de que los 50 m extremos de las losas armadas no se fisuran.

Las losas tienen 20 cm de espesor y descansan sobre una capa de suelo estabilizado con cemento, de 15 cm de espesor. La anchura total del pavimento es de 15 m, divididos en cuatro bandas de 3,75 m cada una.

La armadura está constituida por redondos corrugados de acero de 62 kg/mm² de límite elástico y la cuantía es de 0,37 por 100. Esta armadura va colocada a 5 cm por debajo de la superficie de rodadura y está formada por mallazos de 7 m de longitud constituidos por:

- barras longitudinales de \varnothing 12, cada 15 centímetros;
- barras transversales de \varnothing 6, cada 40 cm, de acero A 37.

El recubrimiento longitudinal de los mallazos es de 50 centímetros.

El comportamiento de este pavimento, desde que se encuentra en servicio, puede considerarse como muy satisfactorio en cuanto que las losas no presentan prácticamente fisuras; sólo aparecen algunas excepcionales situadas, bien en la zona central de las losas, bien en las proximidades de las juntas de hormigonado correspondientes a las interrupciones diarias del trabajo (fig. 8). De cualquier modo, estas fisuras excepcionales se han mantenido siempre muy cerradas, sin que haya sido necesario realizar ningún trabajo de reparación.

Esta técnica de las grandes losas armadas parece, por consiguiente, muy aceptable. No obstante, plantea un problema delicado: el de las juntas de dilatación, para el cual, hasta el momento, no se ha encontrado una solución satisfactoria. El movimiento de los labios de estas juntas, que inicialmente tenían 2 cm de anchura, es relativamente muy importante. Su abertura, que a consecuencia de la retracción y fluencia del hormigón, y a pesar de la dilatación, llegó a ser, en verano, de 3 cm aproximadamente, alcanzó en invierno, a causa de la contracción térmica, cerca de los 5 cm. Ningún material de selladura puede, al menos por el momento, seguir este movimiento. El material en tiempo caluroso desborda la junta y se extiende por los bordes de las losas, y la junta queda parcialmente vacía cuando la temperatura desciende. Por otra parte, estos importantes movimientos, al menos los de acortamiento, no pueden ni deben evitarse ni coartarse si se desea impedir la aparición de fisuras. En la actualidad se está ensayando una solución: consiste en aprovechar el momento en que, en invierno, la abertura de las juntas es, más o menos, la máxima posible, para rellenar la junta, hasta unos 2 cm aproximadamente de la superficie, por medio de un mortero muy seco y perfectamente compactado mediante pisones de forma apropiada. Se espera que, de esta forma, los únicos movimientos posibles serán pequeños acortamientos ulteriores, de poca importancia, mientras que las dilataciones se traducirán en tensiones de compresión sobre el firme, que en ningún aspecto pueden estimarse perjudiciales. Hasta la fecha no se ha facilitado información sobre los resultados obtenidos en estos ensayos.

En la actualidad, y a la vista del comportamiento de los diferentes tramos experimentales que quedan descritos, se observa una cierta preferencia por los firmes continuos de hormigón armado. Así, se ha construido una nueva pista para tanques militares cerca de Arlon, con la misma cuantía y el mismo tipo de acero utilizado en la pista de Zonhoven. La única diferencia estriba en que la armadura va colocada al tercio inferior del espesor del firme. Todavía es demasiado pronto para sacar conclusiones de esta experiencia.

Por otra parte, y por iniciativa de la Federation de l'Industrie Cimentière, se está construyendo un nuevo tramo con losa continua de hormigón armado, sin juntas transversales, en la carretera Bruselas-Charleroi. Las características de este nuevo tramo, de 3,774 kilómetros de longitud, son las siguientes:

La losa tiene una anchura total de 10,5 m, dividida en dos bandas de 5,25 m cada una. Su espesor es de 18 cm y se apoya directamente sobre el antiguo pavimento, de hormigón en masa, de 23 cm de espesor y 9 m de anchura, que había sido construido en 1950. Se han adoptado las oportunas precauciones para asegurar una buena adherencia entre el antiguo y el nuevo firme.

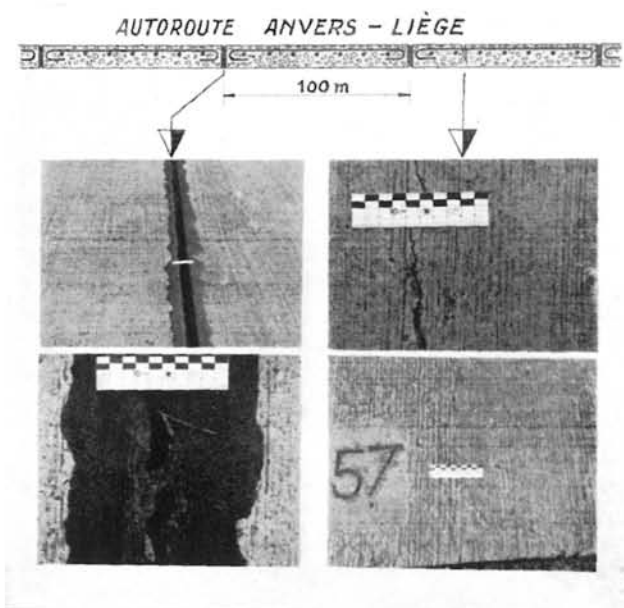


Fig. 8.—Autopista Amberes-Lieja.

La anchura total es de 7 m, dividida en dos bandas de 3,5 m cada una. En sus extremos apoya en sendos estribos: uno, el C-1 (fig. 10), constituido por una losa de 24 m de longitud, anclada sobre pilotes, y otro, el C-2 (fig. 11), formado por una losa nervada de 19 m de longitud.

A lo largo de las partes curvas lleva unos bordillos cuyo detalle se indica en la figura 12. Finalmente, en la figura 13 puede verse una sección de una de las "juntas activas" entre losas.

Resulta interesante considerar los diferentes problemas a que ha dado lugar la aplicación de esta técnica del pretensado, de los cuales los más importantes son los que se derivan de la influencia de las variaciones térmicas y de la relajación. Basándose en anteriores experiencias extranjeras, se había subestimado el efecto de los cambios de temperatura. Como consecuencia, se produjeron excesivas variaciones en los valores de la tensión de compresión del hormigón, tensiones que resultaron demasiado elevadas en verano e insuficientes (prácticamente nulas) en invierno.

No habían transcurrido todavía cinco meses desde la entrada en servicio de la carretera (en octubre de 1960) y al producirse los primeros descensos de temperatura se inició ya la fisuración, indicio evidente de que el esfuerzo de pretensado era insuficiente. Esta falta de pretensado se confirmó midiendo las tensiones y las deformaciones. El fenómeno de la pérdida de esfuerzo de pretensado fue parcialmente atribuido a la retracción del hormigón, por una parte, y al fenómeno de la fluencia-relajación, por otra; ambos fenómenos combinados con la contracción térmica. A la vista de los hechos se decidió intentar volver a dar al esfuerzo de pretensado su valor inicialmente previsto. En contra de lo que se esperaba, las fisuras permanecieron abiertas. Con el fin de evitar este inconveniente que resultaba perjudicial, tanto para la conservación de la carretera como para la comodidad de los usuarios, se eliminaron las secciones fisuradas, cortando, con sierra, en los lugares dañados una estrecha banda de hormigón que se sustituía por un hormigón nuevo, después de lo cual se volvió a pretensar. Cuando estos trabajos se estaban realizando, la temperatura descendió bruscamente más de 10° C, aumentándose la fisuración del firme y originando nuevas fisuras en los trozos recién reparados. Ante esta situación, los técnicos llegaron al convencimiento de que, evidentemente, las variaciones de tensión en función de los cambios de temperatura habían sido subestimadas desde un principio.

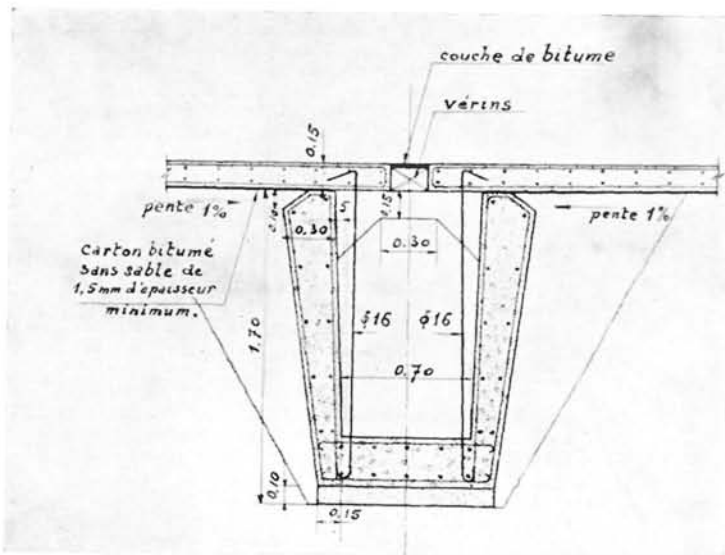
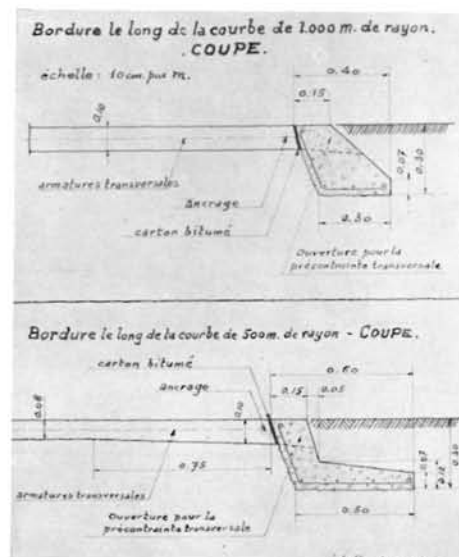
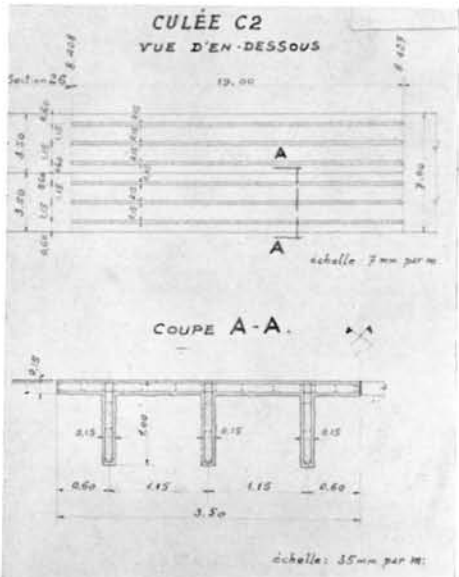
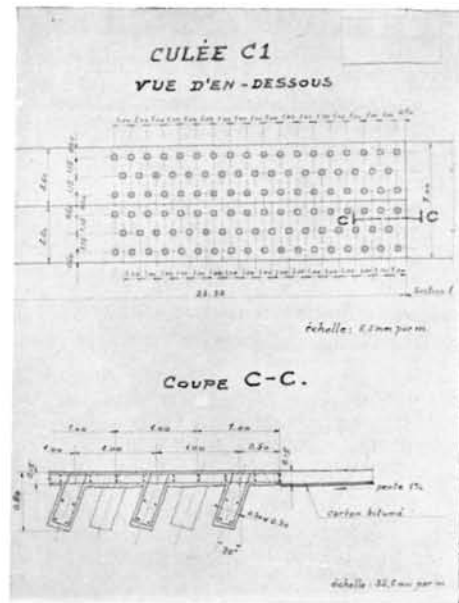


Fig. 10.—Estribo C-1.

Fig. 11.—Estribo C-2.

Fig. 12.—Bordillo en las zonas curvas.

Fig. 13.—Junta activa.



Los valores admitidos en el proyecto inicial* fueron, de acuerdo con los datos que se poseían, del orden de los 2 kg/cm², por grado, para las variaciones diarias, y de 1 kg/cm², por grado, para las variaciones estacionales de temperatura. Por el contrario, las medidas efectuadas en obra registraron una variación de tensión del orden de los 4 a 6 kg/cm², por grado.

Estudiado de nuevo el problema se adoptó la solución de someter toda la carretera, nuevamente, a un esfuerzo de pretensado capaz de originar una tensión uniforme de 60 kg/cm², para una temperatura media del hormigón de +5° C. Esta solución se basaba en las siguientes hipótesis respecto a los valores de las pérdidas de tensión originadas por los cambios de temperatura:

- influencia de las variaciones térmicas estacionales: 1 kg/cm², por grado;
- influencia de las variaciones térmicas diarias: 2,8 kg/cm², por grado.

La solución teórica adoptada tropezó, sin embargo, con ciertas dificultades de realización. En efecto, los gatos planos tipo Freyssinet hasta entonces utilizados eran incapaces de producir los esfuerzos necesarios para la obtención de un pretensado tan elevado. Esta dificultad se venció recurriendo a un ingenioso sistema de gatos de tornillo (figura 14) puesto a punto por el Laboratorio Magnel de la Universidad de Gante**. Aunque las tensiones de pretensado obtenidas fueron ligeramente inferiores a las teóricas, los trabajos se realizaron de forma muy satisfactoria. Debe destacarse que la distribución longitudinal del pretensado fue mucho más uniforme que durante las operaciones precedentes, si bien el hecho no puede ser imputado, con seguridad, al empleo de los gatos de tornillo.

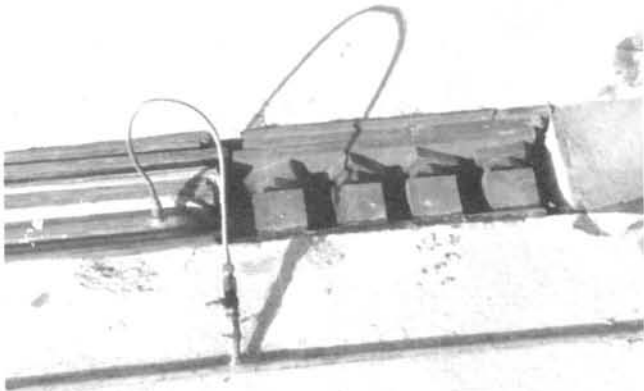


Fig. 14.—Gatos de tornillo.



Fig. 15.—Rotura por pandeo, a una temperatura de 40° C.

Como consecuencia de todo ello, un año después de la entrada en servicio se tenía un firme cuyas características de pretensado habían sido totalmente modificadas. Los valores teóricos iniciales de 20, 30 ó 40 kg/cm², a +15° C se habían transformado en valores reales, *medidos*, de 60 a 75 kg/cm² a +10° C, para las losas de 10 y 12 cm de espesor, y de 45 kg/cm² a +5° C, para las losas de 8 cm de espesor. En esta situación existía la duda de si tales esfuerzos de pretensado podrían originar desperfectos en las losas y, especialmente, roturas por levantamiento de los bordes durante los calores del próximo verano de 1961. En contra de todas las teorías, y en especial de la de Mr. Levi*** extrapolada a los firmes de hormigón, efectivamente, durante los días 24 y 25 de junio de 1961 se produjeron dos roturas para una temperatura media estimada en el hormigón de +40° C (ver fig. 15).

El 26 de junio se midió la tensión en una de las losas que quedaron intactas. Estas medidas indicaron una compresión de 200 kg/cm², aproximadamente. Comprobada la exactitud de los datos suministrados por los aparatos registradores incorporados a las losas, se hizo preciso reconsiderar el problema partiendo de una variación de tensión de 4 a 6 kg/cm² para cada grado de diferencia de temperatura. Hasta entonces, en efecto, se había prestado poca atención a los valores registrados en los aparatos de medida, ya que dichos valores resultaban muy superiores a todos los que aparecían publicados en los diferentes trabajos técnicos relacionados con este problema. No obstante, y con el fin de evitar la repetición de tales incidentes, en el trozo de la carretera que, a causa de las roturas, había perdido su pretensado, se introdujo un nuevo esfuerzo a razón de 50 kg/cm² para una temperatura de +20° C. El resto de la carretera se dejó como estaba, teniendo en cuenta que, por otra parte, a consecuencia de la fluencia las tensiones habían disminuido sensiblemente. Al principio del invierno 1961-62, la tensión en las losas volvió a anularse prácticamente. Se recurrió entonces a un nuevo tesado a razón de 80 kg/cm² a +5° C. Realmente, esta era la sexta operación de corrección que se hacía. Se trataba de evitar la aparición de fisuras, registrada en el invierno precedente. Como con los

* A. Paduart: «Conception et étude de la route expérimentale en béton précontraint Zwartberg-Meeuwen», La Technique Routière, V/1, 1-18, 1960.

** F. Riessauw: «Résultats des essais et mesures effectués sur les revêtements en béton précontraint de la route expérimentale Zwartberg-Meeuwen et de la piste d'envol de Zaventem», La Technique Routière, VII/3, 55-71, 1962.

*** R. Levi y Perrin: «Les risques de soulèvement des pistes et des voies ferrées», Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, circulaire Série I, 36, 1947.

gatos hidráulicos de que se disponía no era posible alcanzar los valores requeridos de la tensión de compresión, se volvió a recurrir, con éxito, a los gatos de tornillo, que ya habían sido parcialmente utilizados durante la cuarta operación de teso (fig. 14).

Estos gatos, convenientemente protegidos, se dejaron colocados con el fin de poder corregir, en cualquier momento, el valor del esfuerzo de pretensado actuante. Era evidente que el pretensado aplicado resultaba demasiado fuerte para poderlo mantener, sin reducción, al producirse la elevación de temperatura prevista para la primavera de 1962.

En consecuencia, ya antes de la sexta corrección se decidió efectuar una séptima operación durante el mes de abril de 1962. Durante esta operación se volvería a dar al pretensado un valor más adecuado a las condiciones de temperatura estivales. Por consiguiente, en abril de 1962 se redujo de nuevo el pretensado bajando de 80 kg/cm² a 20 kg/cm² para la misma temperatura de + 5° C. Durante la operación que, por otra parte, venía efectuándose en perfectas condiciones, se produjo súbitamente, el 18 de abril, una variación excepcional de temperatura. En menos de doce horas la temperatura *del aire* pasó de 0° C a 22° C. Si se hubiese registrado la misma variación térmica en el hormigón, la tensión de las losas en las cuales no se había efectuado todavía la corrección habría pasado de 55 a 165 kg/cm² o, incluso, más en las losas expuestas al sol. Y, efectivamente, en un trozo de la carretera en la cual todavía no se había corregido la tensión se midió una tensión de 190 kg/cm² que originó una nueva rotura.

Una vez reparados los desperfectos, se concluyeron los trabajos de corrección sin que se registrase ningún nuevo incidente durante el verano de 1962.

Estas correcciones semestrales de tensión se continúan realizando durante los meses de abril y octubre de cada año, en espera de que se encuentre algún nuevo procedimiento que evite el tener que proceder cada seis meses a modificar el valor del esfuerzo de pretensado.

En definitiva, cabe señalar las siguientes conclusiones empíricas para una carretera de hormigón pretensado, con estribos fijos y en la que, cada 270 m, se ha colocado un dispositivo para evitar el pandeo:

1. El valor del esfuerzo de pretensado introducido debe ser tal que la tensión de compresión no se anule más que para una temperatura del orden de los -15° C. En efecto, únicamente para esta temperatura puede suponerse que, a consecuencia del hielo, el suelo ha adquirido ya la resistencia suficiente para soportar la mayor parte de las cargas.
2. De cualquier modo, la tensión de compresión no debe anularse más que a una temperatura aproximadamente igual a la mínima registrada en la región correspondiente. De lo contrario, es de temer que aparezcan fisuras.
3. Si se producen fisuras, es poco probable que éstas se vuelvan a cerrar espontáneamente bajo el efecto de una elevación de temperatura. El ajuste nunca resulta perfecto debido al polvo que entra en la fisura y a las rebabas que se forman en los bordes.
4. Teniendo en cuenta que cuando la tensión de compresión se eleva a unos 200 kg/cm² existe el peligro de que se produzcan roturas por pandeo, es preciso evitar que dicha tensión exceda de los 150 kg/cm², a la temperatura máxima registrada en la región correspondiente (debe tenerse presente que, en este fenómeno, ejerce una gran influencia el peso propio de las losas, por lo cual esta conclusión sólo es válida para losas de un espesor máximo de 12 cm).
5. En el caso de juntas "no-elásticas", el empleo de gatos de tornillo para la introducción del pretensado parece ser una solución muy ventajosa, debido, principalmente, a la facilidad de maniobra que presentan.
6. Por lo que respecta a la comodidad del usuario, los pavimentos de hormigón pretensado resultan muy satisfactorios, a causa, principalmente, de la supresión total de juntas transversales.

El mayor inconveniente de este tipo de firme consiste en la dificultad con que se tropieza cuando se intenta satisfacer, simultáneamente, las condiciones 1.ª (ó 2.ª) y 4.ª, a causa de las fuertes variaciones de tensión que originan los cambios de temperatura. Por ejemplo, en el caso de la carretera belga que se viene estudiando, hubiese sido necesario que la tensión de compresión se anulase para -15° C y no excediese de 150 kg/cm² a +40° C. Las variaciones de tensión, para cada grado de diferencia de temperatura, vienen dadas por el producto $\lambda \cdot E$, siendo λ el coeficiente de dilatación lineal del hormigón y E su módulo de elasticidad. Las características del hormigón utilizado en dicha carretera eran:

$$\lambda = 1,2 \times 10^{-5}$$

$$E = 400.000 \text{ kg/cm}^2$$

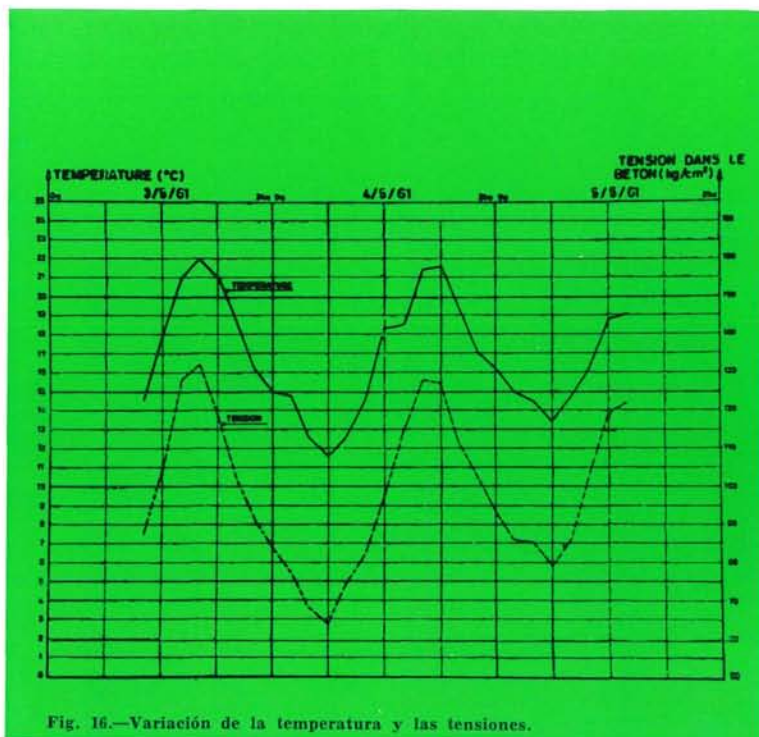


Fig. 16.—Variación de la temperatura y las tensiones.

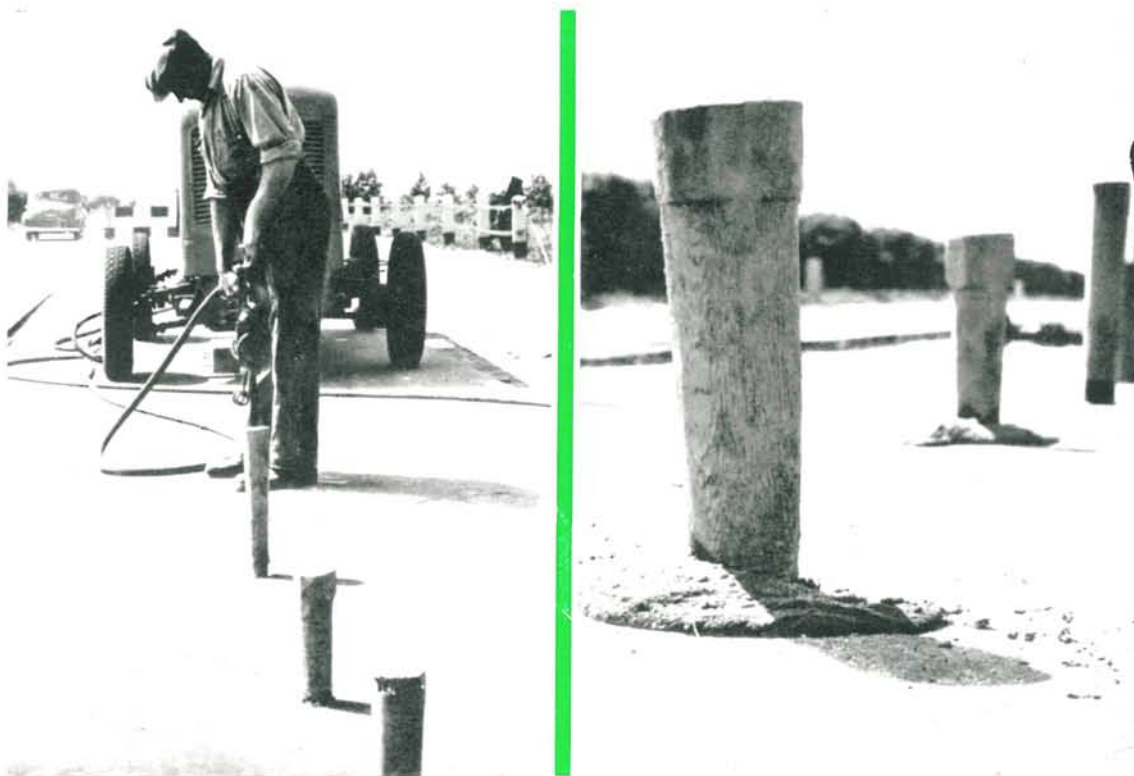


Fig. 17.—Inyecciones para la nivelación de losas.

Por consiguiente, resultaba: $\lambda \cdot E = \pm 5 \text{ kg/cm}^2$, por grado centígrado, lo que conducía, para una diferencia máxima de temperatura de 55°C , a variaciones de tensión del orden de los 275 kg/cm^2 . En la figura 16 se ha dibujado el diagrama de variación de tensiones en función de la temperatura. Como consecuencia de las excesivas tensiones se producían roturas por pandeo en determinados lugares especiales, tales como en las secciones en que variaba el espesor de la losa en las juntas activas; y, accidentalmente, en algunos puntos, los bordillos y estribos han experimentado corrimientos bajo el efecto de estas compresiones excesivas, que no habían sido previstas.

En principio, para combatir este defecto existen dos soluciones:

- a) Disponer juntas elásticas, análogas a las estudiadas y utilizadas en la carretera experimental de Fontenay-Tresigny. Esta solución lleva en sí misma apreciables limitaciones, como consecuencia de la presencia de juntas de abertura variable.
- b) Elegir un hormigón para el cual el producto $\lambda \cdot E$ sea menor.

Efectivamente, el coeficiente de dilatación del hormigón era relativamente elevado y puede lograrse una reducción importante empleando áridos más adecuados. En la Universidad de Gante se están ensayando actualmente hormigones compuestos de piedra caliza y esquistos o arcilla dilatada, para los cuales se ha obtenido:

$$\lambda = 0,7 \text{ a } 0,8 \times 10^{-5} \quad E = 350.000 \text{ kg/cm}^2$$

con lo cual resulta: $\lambda \cdot E = \pm 2,5 \text{ a } 2,7 \text{ kg/cm}^2$, por grado centígrado.

Con este valor, para una variación máxima de temperatura de 60°C , se obtiene una diferencia de tensión del orden de los 150 kg/cm^2 , lo que cae ya dentro de los límites admisibles. Se tiene prevista la construcción de un nuevo tramo experimental utilizando un hormigón de este tipo.

A pesar de estas mejoras que atañen a las características del hormigón, el problema sigue presentándose difícil y quizás pueda ser resuelto recurriendo, conjuntamente con el empleo de hormigones del tipo últimamente indicado o similar, a la sustitución de las actuales juntas por otras juntas elásticas cuyo funcionamiento debe ser automá-

tico. Convendría estudiar también los procedimientos de pretensado interno cuya solución más económica parece ser la que consiste en el empleo de losas de 100 a 150 m de longitud, comprimidas mediante alambres pretesos; este sistema se viene utilizando, aparentemente con buenos resultados, en Holanda.

Como conclusión final debe destacarse la importancia de proseguir los estudios experimentales a escala natural que se vienen realizando en la carretera Zwartberg-Meeuwen, de los cuales se están deduciendo importantes enseñanzas en relación con los diversos problemas que esta técnica tiene planteados y, especialmente, en todo lo referente a los efectos higrotérmicos. Su solución hará posible la explotación a fondo de las innegables ventajas que el hormigón pretensado ofrece para la construcción de carreteras.

Entretención y reparación de pavimentos

Para completar la visión de conjunto sobre la técnica belga en materia de carreteras de hormigón que, en este artículo, se intenta dar, parece necesario tratar, aunque sólo sea muy brevemente, de los procedimientos que en dicho país se utilizan para el entretenimiento y reparación de los firmes de hormigón:

a *Entretención:* En líneas generales puede decirse que el único trabajo que exige el entretenimiento de una carretera de hormigón es el de mantener en perfecto estado de funcionamiento y conservación sus juntas.

No parece necesario recordar la importancia de la operación de sellado de las juntas, que debe ser realizada con todo cuidado y repetida siempre que así lo aconseje el estado del material de selladura, para lo cual resulta imprescindible mantener una continua vigilancia.

Resulta, por otra parte, evidente que la calidad de los nuevos materiales de selladura es cada día mejor, lo cual viene a facilitar el trabajo de conservación. Su precio, indudablemente elevado, no debe ser un obstáculo para su empleo, ya que, por un lado, su duración es actualmente cada vez mayor y, por otro, el número de las juntas que deben sellarse es cada vez menor.

En estas condiciones resulta patente la necesidad de una adecuada y concreta reglamentación oficial sobre el particular. Los técnicos belgas estiman muy aconsejable proceder a la experimentación, tanto en laboratorio como en obra, de todos aquellos nuevos materiales de selladura que se juzgue puedan responder a las exigencias requeridas y que estos estudios desemboquen en el establecimiento de unos métodos oficiales de ensayo y, sobre todo, en unas prescripciones de calidad y puesta en obra, más exigentes y confiables que las actualmente vigentes.

b *Reparación:* En el caso de pavimentos de hormigón que no han sido construidos con arreglo a las técnicas actuales, como sucede en algunos de los tramos antiguos que se han descrito al principio de este artículo, es frecuente tener que realizar diversos tipos de reparaciones para eliminar los desperfectos sufridos. De estos desperfectos, los que con más frecuencia se presentan son: desnivelación de las losas y roturas o fisuras superficiales, más o menos localizadas, del firme.

Cuando se trata de corregir una desnivelación, el procedimiento generalmente utilizado consiste en practicar unos orificios en las losas, e inyectar, posteriormente por ellos, una mezcla muy plástica de arena, limo y cemento en las siguientes proporciones (cifras medias):

- 60 a 80 por 100 de arena;
- 13 a 30 por 100 de limo, y
- 7 por 100 de cemento.

La figura 17 se refiere a los trabajos de reparación de una carretera de hormigón por el procedimiento descrito. Esta técnica se ha extendido ampliamente durante los últimos años; su eficacia, no obstante, resulta subordinada al cumplimiento simultáneo de ciertas condiciones que la experiencia ha demostrado ser necesarias, si no suficientes. Dichas condiciones son:

- mantener en buen estado, tanto las juntas como los dispositivos de evacuación de las aguas superficiales;
- adoptar una distancia máxima de 2 m entre orificios de inyección.

También parece evidente la necesidad de proceder a un estudio sobre la eficacia de los productos adhesivos actualmente existentes en el mercado, en lo que respecta, tanto a su empleo como tales para el colmatado de fisuras como a su adición al mortero de cemento utilizado en la inyección de firmes.

Cuando se trata de renovar, reforzar o ensanchar una carretera de hormigón, uno de los procedimientos que pueden emplearse consiste en colocar una nueva losa de hormigón utilizando como cimiento el firme antiguo. Esta técnica, de origen norteamericano, ha tenido en Bélgica su primera aplicación importante dentro de Europa.

En la carretera de Louvain-Diest era necesario ensanchar el firme desde 6 hasta 10,5 m. La carretera había sido construida en 1934 y presentaba un número moderado de fisuras. En este proyecto, la administración decidió adoptar la técnica americana colocando, sobre el firme antiguo, una capa aislante constituida por 3 cm de tarmacadán y, encima, losas de hormigón, de 18 cm de espesor, con juntas transversales cada 5 ó 6 metros. Estas juntas se distribuyeron de forma que, una de cada dos, coincidía con la junta del firme antiguo. En las nuevas losas de hormigón se dispuso una pequeña armadura de 1 a 2 kg/m² (fig. 18).

Posteriormente, y por iniciativa de la Federación de la Industria Cementera de Bélgica, se hizo una serie de ensayos complementarios para comprobar si era posible suprimir alguna de las precauciones adoptadas en este pro-

yecto para asegurar el buen comportamiento del nuevo firme; a saber: capa aislante, coincidencia de juntas, armado de las losas. De los resultados obtenidos en estos ensayos cabe deducir las siguientes conclusiones:

- resulta inútil la interposición de una capa aislante entre el antiguo y el nuevo pavimento, destinada, en principio, a impedir la transmisión de fisuras;
- según se ha podido comprobar mediante el ensayo de probetas-testigo la adherencia entre el antiguo y el nuevo hormigón es perfecta y, por consiguiente, cabe pensar en reducir el espesor de las nuevas losas a 15 centímetros;
- la coincidencia de juntas transversales y la colocación de una ligera armadura en el hormigón de las nuevas losas, parece ser indispensable. No obstante, las juntas longitudinales admiten un desfase de hasta 50 cm, con tal de que se dispongan algunas armaduras transversales como refuerzo local;
- esta técnica de reparación de firmes conduce a una economía muy importante, que pueda llegar a ser del orden del 40 por 100 en relación con el coste que representa la demolición de un pavimento antiguo y la construcción completa de una nueva cimentación y de un nuevo firme.

En definitiva, parece conveniente llamar la atención de los proyectistas sobre el interés, tanto técnico como económico, que ofrece este procedimiento para renovar, reforzar o ensanchar un pavimento antiguo de hormigón.

Conclusiones

Se ha pasado una rápida revista a las diversas técnicas utilizadas en Bélgica para la construcción de firmes rígidos (hormigón en masa, armado y pretensado). Se han comentado los diferentes problemas que, todavía actualmente, se presentan en este tipo de obras y las soluciones que se están estudiando o experimentando con el fin de eliminarlos.

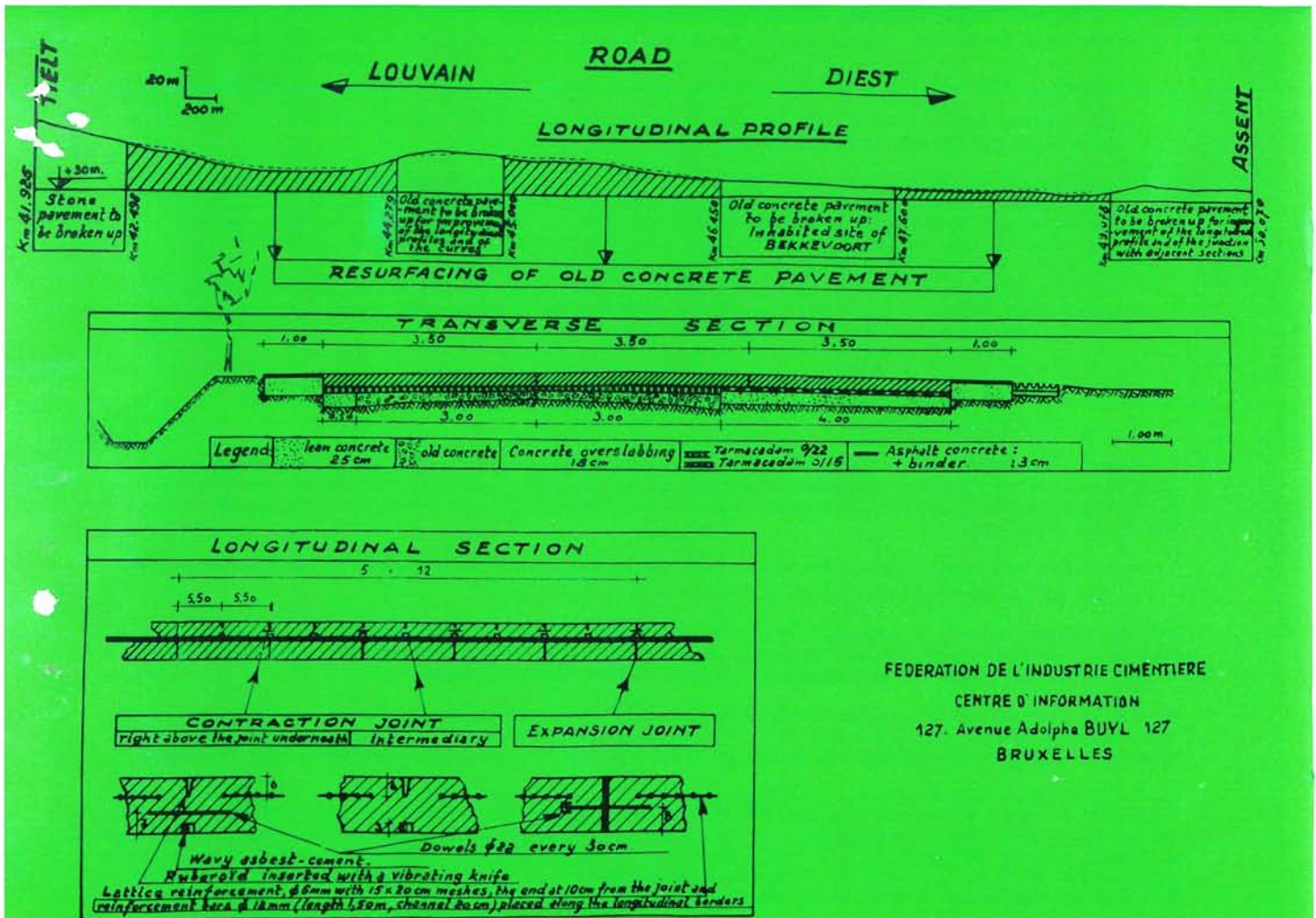


Fig. 18.—Refuerzo del firme antiguo, en la carretera de Louvain-Diest.

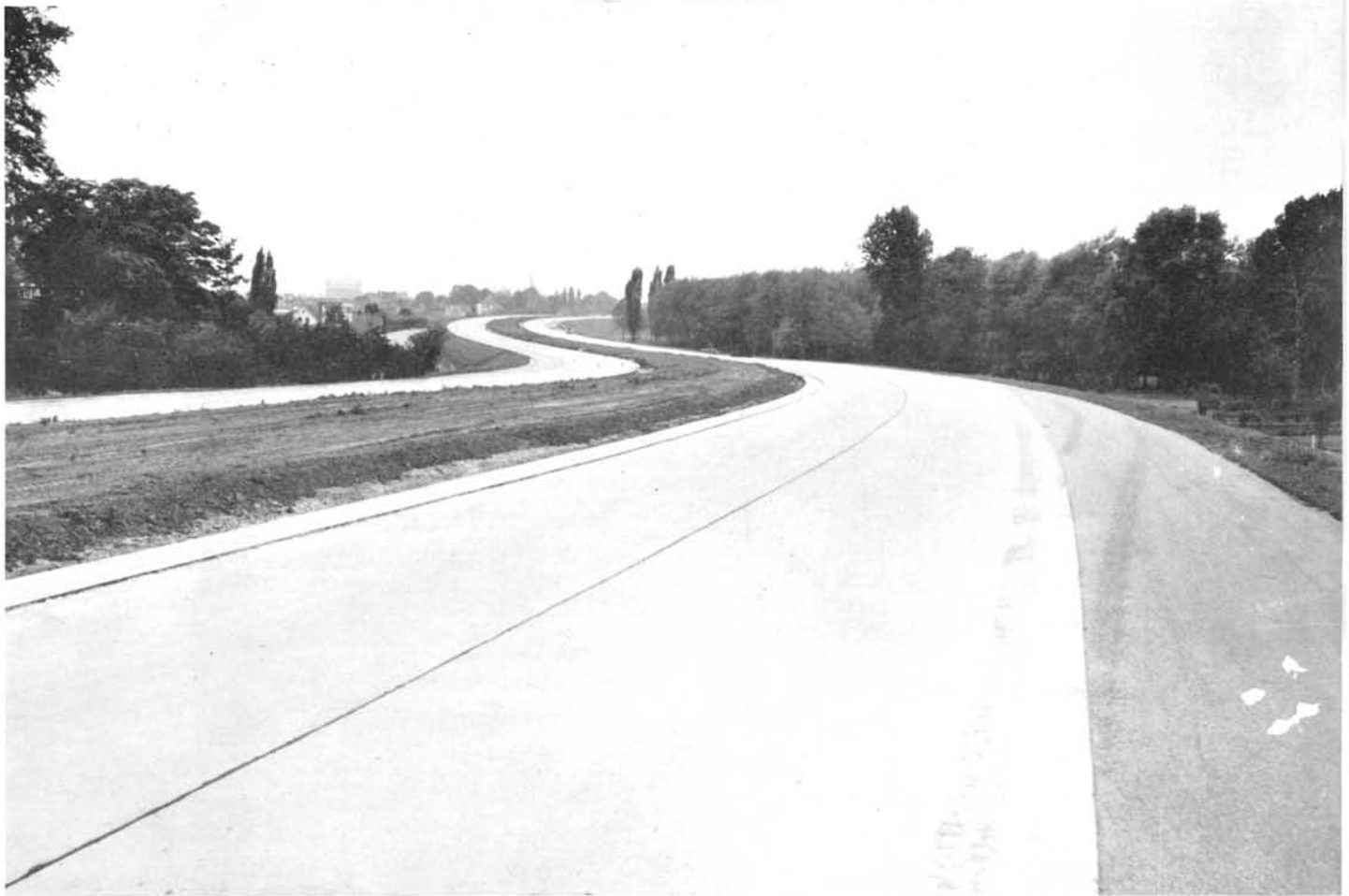


Fig. 19.—Autopista «Rey Balduino»

No quedaría completo este trabajo ni reflejaría fielmente la realidad belga si no se hiciese destacar el incesante incremento de las aplicaciones del hormigón a la construcción de carreteras y pistas de aeropuertos que coloca a este país, en este aspecto, en uno de los primeros puestos entre las naciones europeas. Como ejemplo de una de las últimas realizaciones dentro de este campo, se incluyen tres fotografías de la autopista E/39, del Rey Balduino, en la carretera Anvers-Liège-Dix la Chapelle (ver la fotografía que encabeza este artículo y las figuras 19 y 20).

Pero si importante es la actividad belga desde el punto de vista de las aplicaciones prácticas, mucho más de destacar resulta, al menos desde el punto de vista técnico, sus incesantes estudios teóricos y experimentales sobre estos temas, gracias a los cuales han conseguido aportar interesantes soluciones originales a varios de los problemas que la técnica de las carreteras de hormigón, en sus diversas modalidades, tenía planteados. Estos estudios continúan; en los Congresos Internacionales de Carreteras hay siempre expectación por conocer los últimos trabajos de los especialistas belgas. Todo ello justifica que se pueda calificar de muy valiosa la contribución de la técnica belga al progreso y desarrollo de los firmes de hormigón.



Fotos:
M. BALDEWIJNS

Fig. 20.—Autopista «Rey Balduino».

bibliografía

- R. LEVI y PERRIN: "Les risques de soulèvement des pistes et des voies ferrées". Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, circulaire Série I, núm. 36, 1947.
- A. PADUART: "Conception et étude de la route expérimentale en béton précontraint Zwartberg-Meeuwen. La Technique Routière, V/1, 1-18, 1960.
- "Caheir des Charges.type: N.º 108", aplicable a las obras realizadas en las carreteras del Estado. Bélgica, 1961.
- "Code de bonne pratique pour l'exécution des revêtements de chaussées en béton de ciment". Recommandations C.R.R. R 25/61. Centre de Recherches Routières. Bruxelles, octobre 1961.
- F. RIESSAUW: "Résultats des essais et mesures effectués sur les revêtements en béton précontraint de la route expérimentale Zwartberg-Meeuwen et de la piste d'envol de Zaventem". La Technique Routière, VII/3; 55-71; 1962.
- P. DUTRON: Rapport général "Revêtements en béton de ciment". Question A3. Xº Congrès. Association Permanente des Congrès Belges de la Route. Bruxelles, 1962.
- J. HUBERTY: Rapport A 3/6, "Le problème des joints dans la route en béton de ciment". Question A3. Xº Congrès. Association Permanente des Congrès Belges de la Route. Bruxelles, 1962.
- P. DUTRON: "Expériences belges en matière de revêtements de chaussées en béton de ciment". Conferencia pronunciada el 5 de junio de 1963 en el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid.
- "Pliego general de Condiciones Facultativas para la ejecución de pavimentos rígidos". P. R. 63 del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid, abril 1963.
- P. DUTRON y R. CAIGNIE: Rapport. XIIº Congrès. New Delhi, 1963. 1er. Section: Construction et entretien des routes et pistes d'aviation. 3ème. question: Etude et exécution des chaussées en béton de ciment. Association Internationale Permanente des Congrès de la Route.
- "Expérience belge en matière de routes en béton de ciment avec armatures". Fédération de l'Industrie Cimentière.—Département Promotion. Bruxelles, febrero, 1964.

L'expérience belge de construction et réparation de routes en béton

Alvaro García Meseguer, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Rafael Piñeiro Abril, conducteur de travaux.

La Belgique étant un des premiers pays européens pour la construction de revêtements en béton (tant pour l'emploi traditionnel de ce type de revêtements que pour l'étendue de son réseau routier et le modernisme et l'originalité de ses techniques), il nous a paru intéressant d'en esquisser un historique et de résumer les principales conclusions auxquelles conduit l'expérience de ce pays, aussi bien en ce qui concerne la construction que les réparations.

Belgium's experience in the construction and repair of concrete roads

Alvaro García Meseguer, civil engineer.

Rafael Piñeiro Abril, assistant architect.

Belgium is one of the foremost countries in Europe in the development of concrete road pavements, both due to its tradition in this technology and the extent, modern and original quality of the road network. Hence it has been thought useful to draft a historical survey of Belgian accomplishments in this field, and to summarise the main inferences to be drawn from their experience, in reference both to the construction and the repair of concrete roads.

Die Erfahrungen Belgiens im Bau und in der Reparierung von Betonstrassen

Alvaro García Meseguer, Strassenbauingenieur.

Rafael Piñeiro Abril, Ingenieur.

Belgien ist eines der führenden europäischen Länder im Bau von Betondecken und zwar einmal auf Grund seiner Tradition auf diesem Gebiete und zum anderen wegen seines weitläufigen und modernen Strassennetzes und der oft originellen Techniken. Deshalb hielten wir es für angebracht, einen historischen Überblick über die auf diesem Gebiet durchgeführten Projekte zu bringen und die aus reicher Erfahrung gezogenen Schlussfolgerungen sowohl über den Bau als auch die Reparierung von Betonstrassen zusammenzufassen.