



514 - 40

*Información amablemente facilitada por  
Jones & Laughlin Steel Corporation de Pittsburgh.*

## **carretera pretensada**

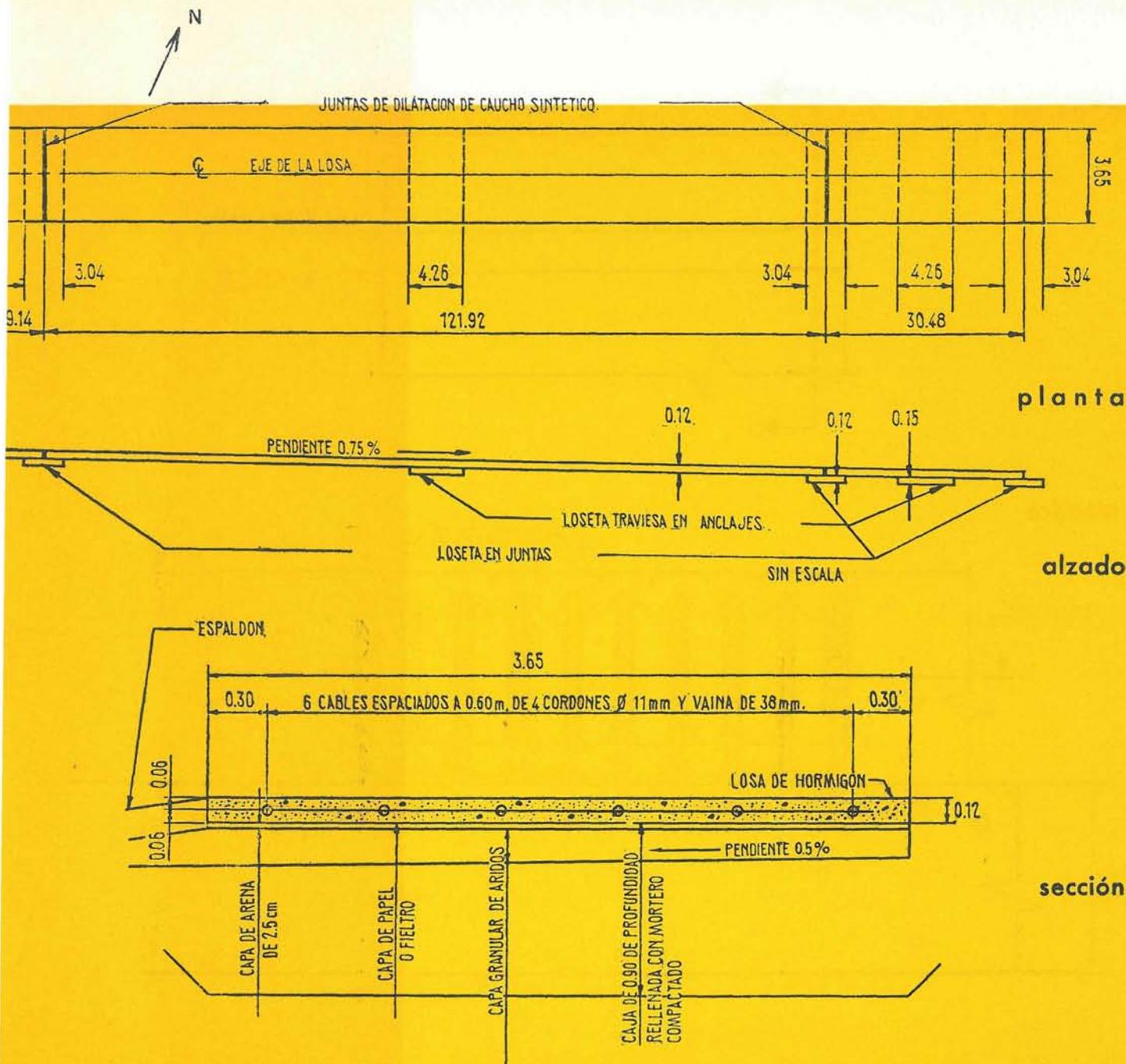


La conocida razón social Jones & Laughlin Steel Corporation, movida por su Presidente, el Almirante Ben Moreell, y en presencia de un nuevo impulso del Gobierno Federal de los Estados Unidos, que parece va a consignar la fabulosa suma de unos 37 millones de dólares para la construcción y modernización de carreteras generales, se lanzó a una investigación de tipo privado para estudiar directamente las posibilidades que se le abren al hormigón pretensado en la construcción de carreteras.

Esta Empresa particular, acerería especializada, está muy interesada en los resultados finales de los ensayos, ya que de ellos depende la preparación de armaduras que ella misma podría fabricar para la construcción de carreteras pretensadas, lo que permitiría reducir el coste de las armaduras, determinar los tipos más apropiados y, en suma, facilitar la introducción de los procedimientos pretensados en el amplio campo de caminos.

La Empresa investigadora ha puesto a disposición de los Organismos oficiales encargados de la redacción de proyectos de esta naturaleza, no ya el trozo de carretera experimental construido por ella, sino cuantos datos se han recogido durante los ensayos que se han realizado, así como la documentación que con tal objeto se ha reunido; de esta forma, la Jones & Laughlin ha contribuido al propio y general interés.

Antes de llegar a una conclusión final para proceder a la construcción del trozo experimental de carretera con firme de hormigón pretensado, se estudiaron, en larga gestación de un año, de 1954 a 1955, las posibilidades que se le ofrecían al hormigón pretensado en esta clase de pavimentaciones. En 1955 empezó la redacción del proyecto del trozo; para ello se tuvieron en cuenta, no ya los conocimientos que se tenían en el propio país, sino los trabajos, investigaciones y técnicas extranjeras en esta materia.



Una de las deducciones inmediatas fué la de admitir que, aun dentro de las ventajas incontestables de la investigación puramente abstracta, los procedimientos pretensados dejan lagunas que requieren una investigación experimental para hallar las soluciones óptimas de acuerdo con los materiales y métodos que hoy disponemos.

En esta segunda fase de acentuada madurez, que debía preceder a la ejecución, también de duración aproximada de un año, se ultimaron los detalles, métodos, dibujos y Pliegos de Condiciones.

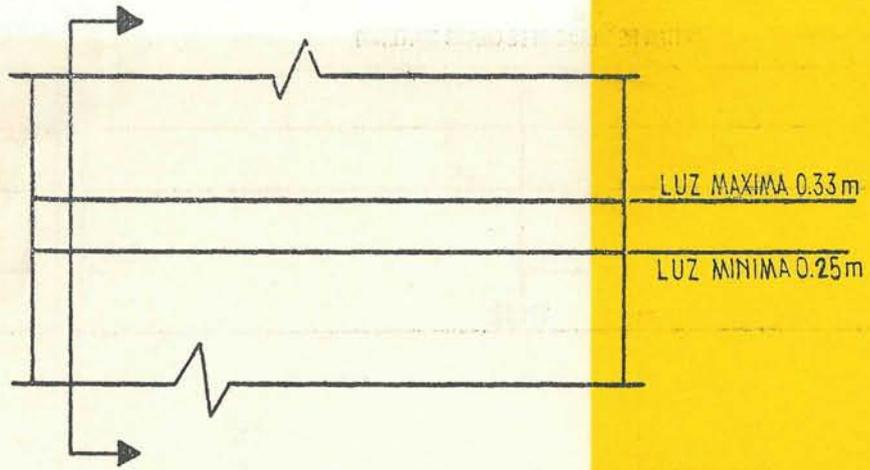
Los problemas que hubo de abordarse son muchos y complejos. Uno de ellos consistió en dialogar sobre el grado de adaptabilidad de estos firmes en los trazados con alineaciones en curva, tanto en el plano horizontal como en las variaciones altimétricas. Existía también el temor a los componentes transversales de-

bidos a esfuerzos oblicuos en las armaduras, pero estos temores desaparecen al hacerse posible la compensación por la presión que ejerce la armadura contra las paredes de los conductos o vainas; además, la construcción resulta práctica, porque el pretensado inhibe la tendencia al pandeo.

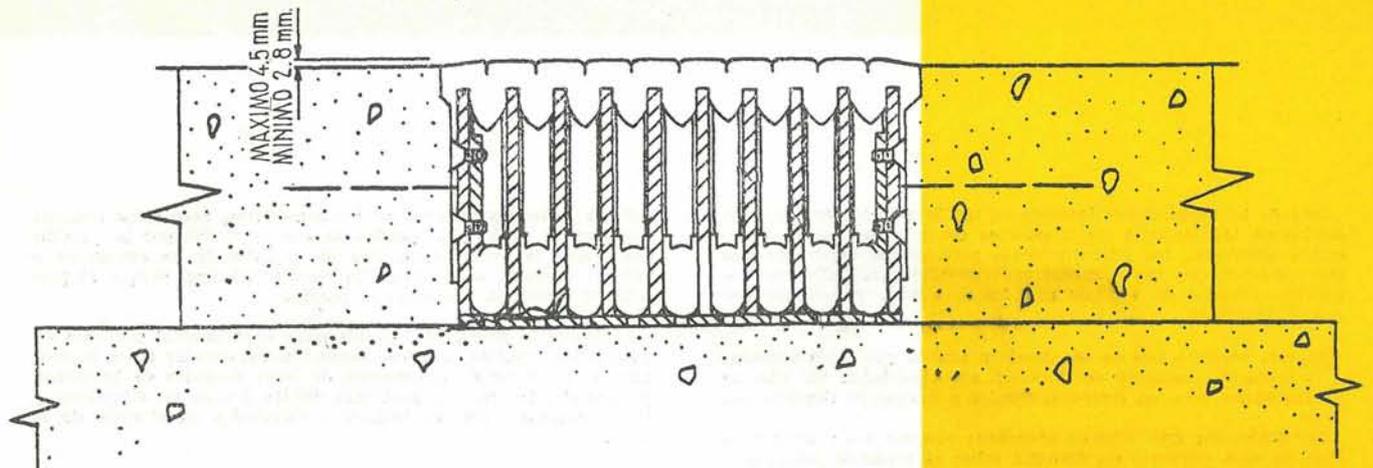
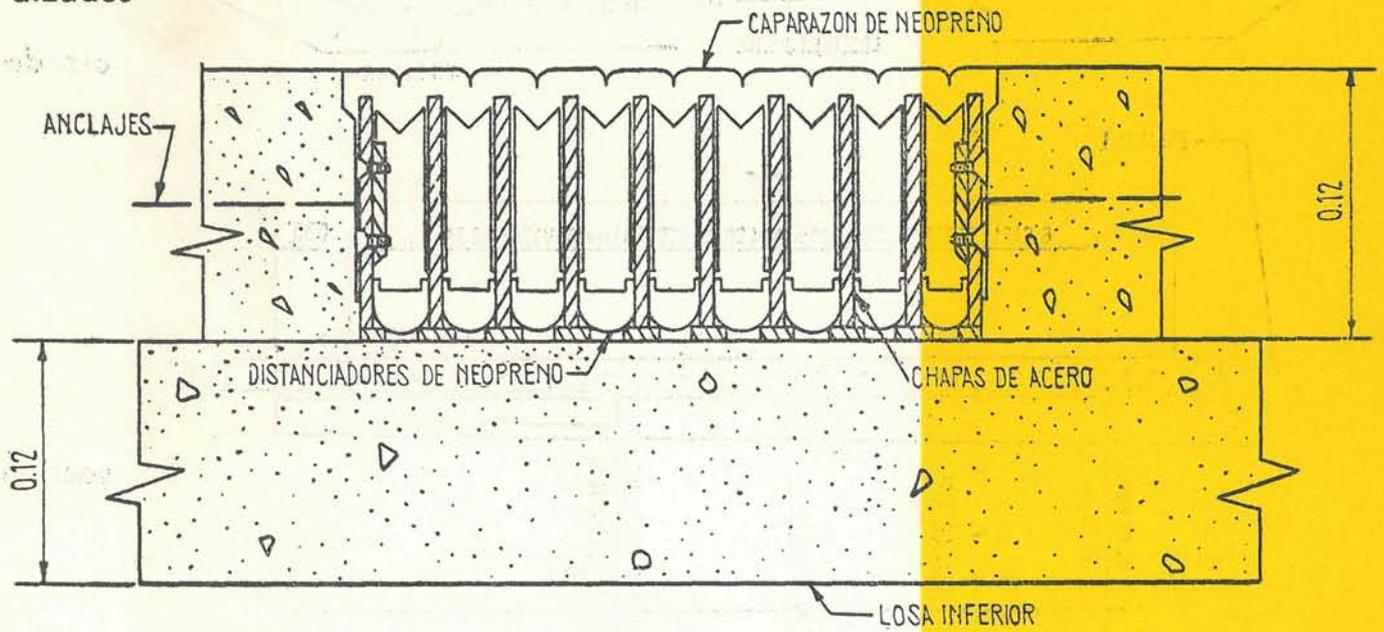
El propósito perseguido en este trozo experimental consistía en desarrollar técnicas prácticas constructivas, obtener datos básicos para el proyecto de pavimentos de losas delgadas de hormigón pretensado, resolver el problema de las juntas de dilatación y lograr características de influencia económica en el coste de la obra.

Sólo la experiencia desarrollada en obra por competentes constructores podrá decidir incontestablemente de la ventaja económica y técnica del hormigón pretensado sobre el ordinario; esto

planta



alzados





no obstante, y aún dentro de una concepción viable, si el hormigón pretensado no necesita de armaduras transversales y los métodos constructivos pueden practicarse con una producción en serie, el sistema pretensado puede aventajar al hormigón ordinario.

#### **construcción del trozo experimental.**

La construcción del trozo experimental de carretera con pavimentación pretensada empezó en septiembre de 1956, y se terminó el mismo mes del año 1957.

El lugar elegido para su ubicación se halla en un alto próximo a la ciudad de Pittsburgh, aislado de la circulación y con un terreno propio para cimientos. Estas condiciones han permitido seguir confortablemente todas las operaciones del ensayo y construcción.

Para los ensayos, toma de datos y registro de éstos se disponía

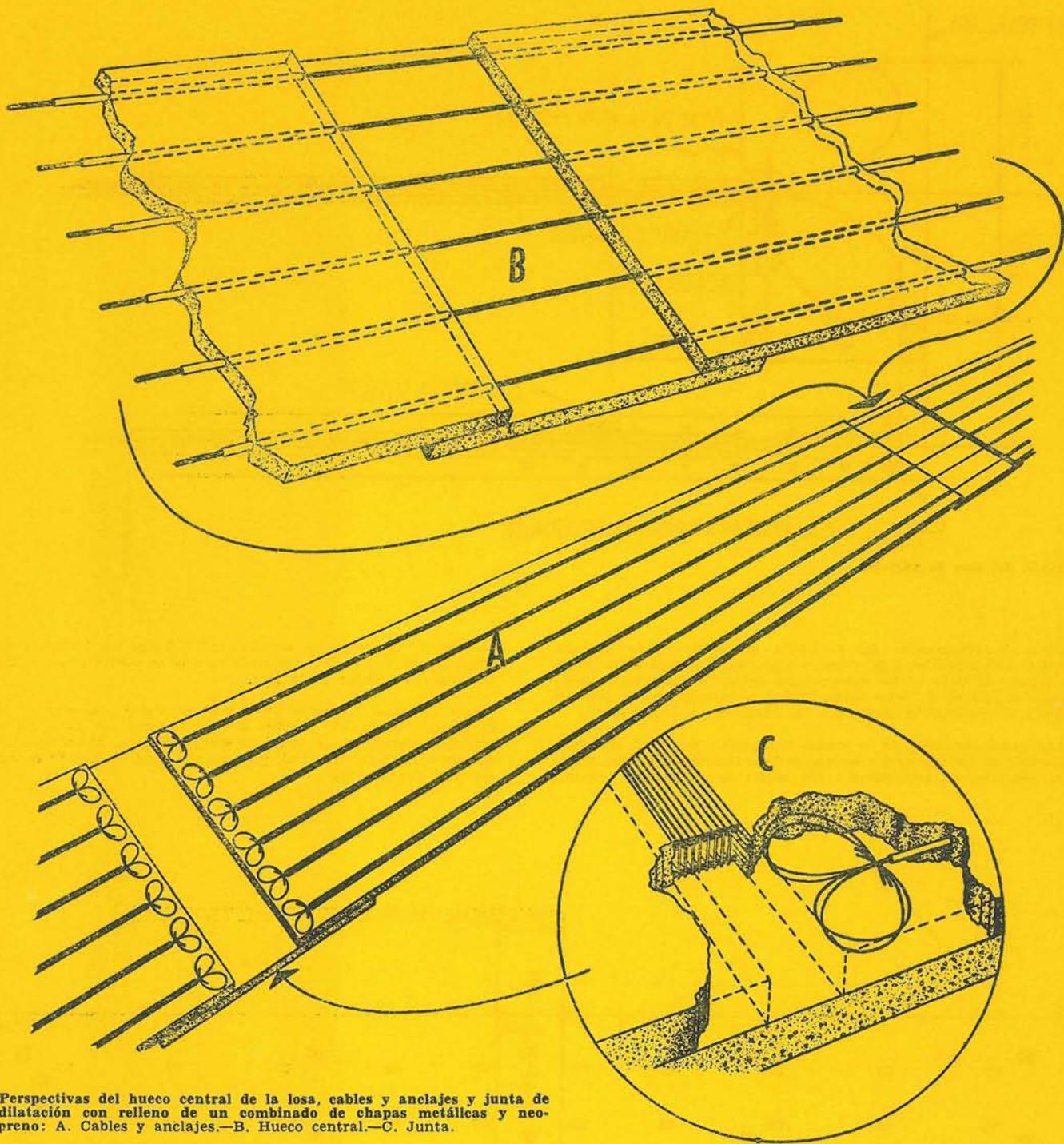
de un refinado instrumental de medidas, preparado exclusivamente a este objeto. La interpretación de los datos que se obtuvieron necesitó especial cuidado para evitar toda confusión posible, teniendo en cuenta que la disposición general debía ser similar a las formas ordinarias en que se desarrolla la construcción de carreteras actualmente.

El trozo experimental está constituido por tres losas: una central, de 122 m de longitud, y dos adyacentes, de 30 m cada una. La anchura es de 3,70 m y su espesor de 13 cm. Las losas corrientes de hormigón actualmente empleadas en la construcción de firmes tienen un espesor de 25 cm. La luz entre labios de juntas de estas losas es de 30 cm, y su relleno está constituido por una estructura mixta de chapas metálicas de posición vertical y una goma sintética a base de neopreno.

Para la transmisión de esfuerzos de una a otra losa a través de la junta, se ha colocado una losa, de 3 m de longitud y 13 cm de espesor, con su eje coincidente con el de la junta, en



Disposición de instrumentos de medida.



Perspectivas del hueco central de la losa, cables y anclajes y junta de dilatación con relleno de un combinado de chapas metálicas y neopreno: A. Cables y anclajes.—B. Hueco central.—C. Junta.

la parte inferior de ésta. Cada losa se ha pretensado con seis cables de 4 cordones de 11 mm de diámetro cada uno. Estos cables van alojados en sus respectivos tubos flexibles, anclados en sus dos extremidades por medio de bucles formados con las prolongaciones de los cables.

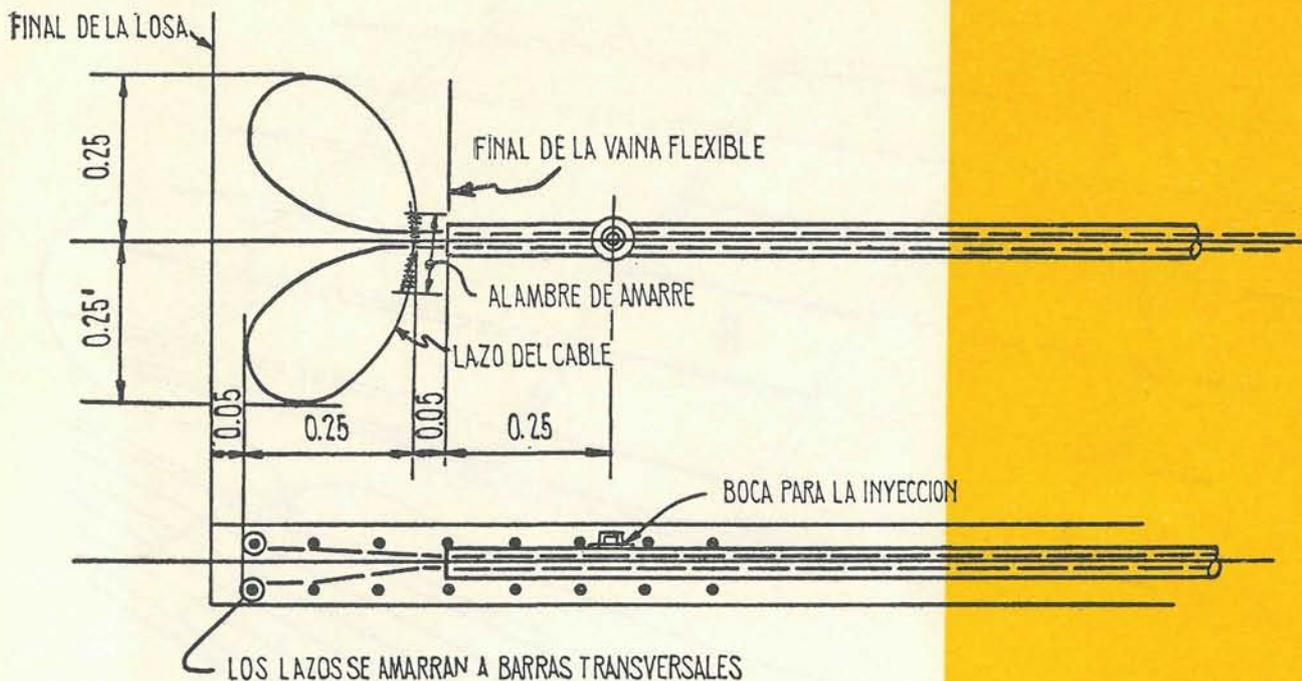
La preparación de la caja, cimientos y compactación, así como los áridos, hormigón, ensayos de asiento y detalles constructivos, se han ajustado a las normas generales que rigen actualmente en esta materia.

**directivas del proyecto**

El pretensado mejora notablemente la capacidad de sustentación de un pavimento rígido. La superficie resultante en los firmes

pretensados, exenta de grietas, protege la base de apoyo contra las infiltraciones de aguas pluviales. Muchas juntas transversales pueden ser suprimidas, a excepción de las de dilatación que se han de conservar. Si estas últimas se pueden espaciar a mayor distancia, desaparecerán muchos puntos débiles donde frecuentemente aparecen fracturas. El pretensado único en el sentido longitudinal es suficiente, y el postesado el método más indicado.

Todos los sistemas actuales de pretensado tienen problemas particulares al aplicarlos a este tipo de construcción. Partiendo de una longitud inicial de losa, de 122 m, el alargamiento de los cables previsto es de 30 cm, carrera exagerada para los gatos empleados en el tesado. Se debía tener especial cuidado en las extremidades de las losas, donde existe una gran cantidad de hormigón sin armar y podría no resistir los esfuerzos.



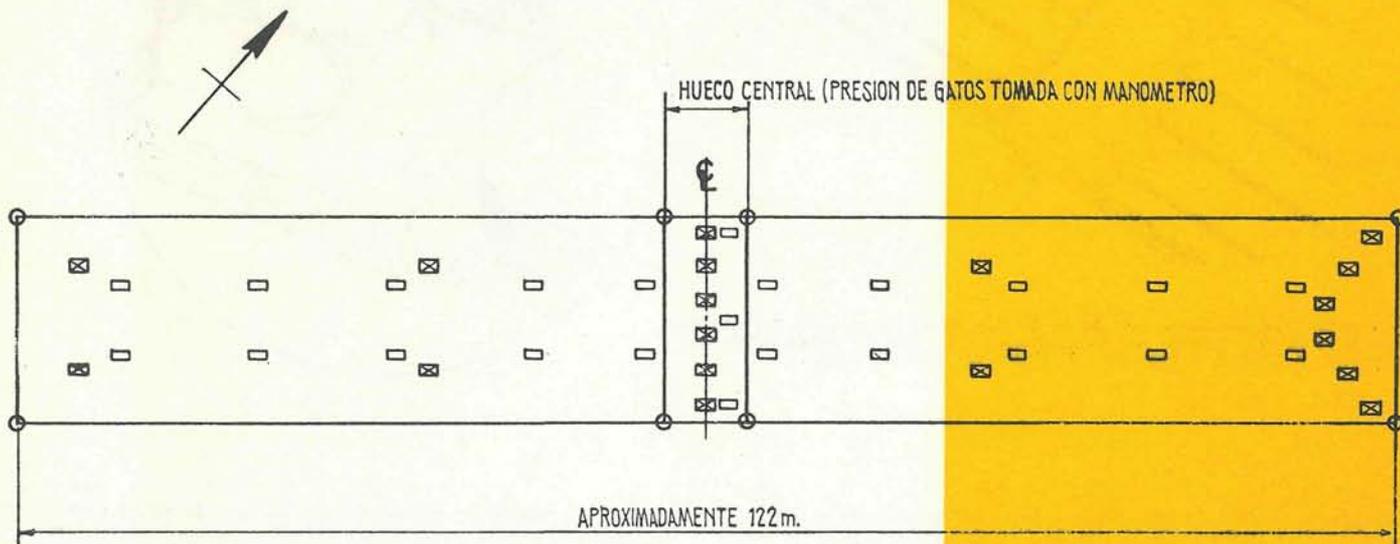
Detalle del lazo de anclaje.

Como la contracción del hormigón es relativamente pequeña respecto al alargamiento del acero, y teniendo en cuenta las pérdidas de tensión al tesar en las extremidades debido al rozamiento, debía tesar la losa en su parte media, donde se dejaría espacio para los gatos y se reduciría notablemente las pérdidas por rozamiento.

Los gatos colocados en la mitad empujarían a uno y otro lado cada una de las dos partes en que se ha subdividido la losa. Había que retenerlas en esta posición por medio de un bastidor robusto,

hormigonar después esta parte central y retirar el bastidor. Posteriormente se llegó a la conclusión de que se podría tesar partiendo de la parte superior de la losa.

Para disminuir los rozamientos debía colocarse una capa de arena de 25 mm de espesor, y sobre ésta, recubierta con papel de construcción, hormigonar la losa con sus armaduras. El coeficiente inicial de rozamiento fué, 1,00, pero al pretensar la losa se comprobó que sólo era de 0,70.



PUNTOS DE OBSERVACION

- MOVIMIENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES DE LA LOSA
- ELONGAMETROS EN LA ZONA MEDIA DEL ESPESOR
- ⊠ ELONGAMETROS PARA LOS CABLES



Los firmes pretensados se comportan como pavimentos flexibles, ya que esta clase de losas no tienen la rigidez característica de los firmes rígidos.

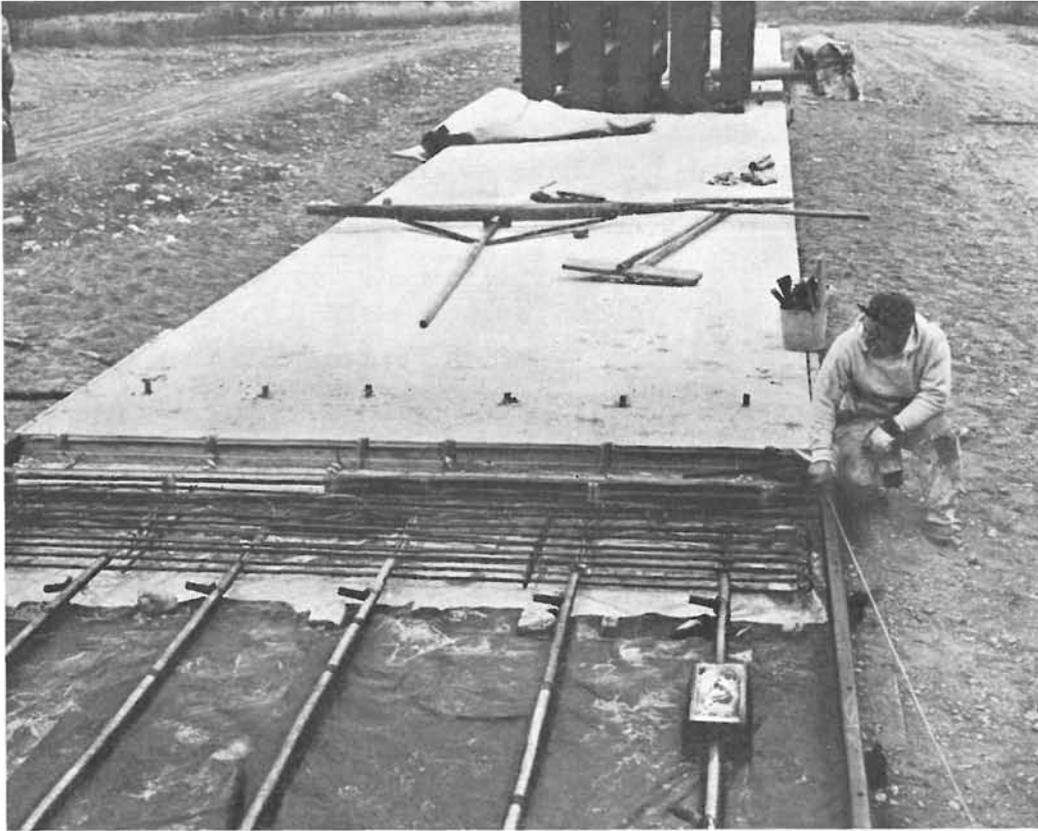
La carga crítica admitida en el borde de la losa, supuesta alejada de la junta, se fijó en 7.260 kilogramos por rueda. Se combinó esta carga por rueda con la tracción producida debido al rozamiento y una tensión crítica de combado suponiendo un coeficiente de balasto de  $4,15 \text{ kg/cm}^2$  para el terreno, obteniendo así una carga de  $68 \text{ kg/cm}^2$ , una tensión de combado de  $-4,85 \text{ kilogramos/centimetro cuadrado}$  y una tensión debida al rozamiento de  $14 \text{ kg/cm}^2$ , resultando una tensión final de  $77,15 \text{ kg/cm}^2$ . Para llegar a una tensión de esta magnitud, es decir, para evitar que la losa se pueda agrietar en cualquier momento, el coste sería prohibitivo.

De esto se deduce una de las ventajas inherentes de los pavimentos de hormigón pretensado, pues la presencia de partes agrietadas no constituye necesariamente un detrimento. Supongamos una carga en el borde obrando sobre una de estas zonas fisuradas debido a la retracción. El resultado será la pérdida total de la resistencia del hormigón a tracción en este punto de carga, contando únicamente con la tensión remanente del pretensado para resistir a esta tracción. Si se rebasa la tensión del pretensado, las grietas se abrirán, y al transferir el momento en el punto de carga a las zonas adyacentes existirá una disminución de su valor resistente en este punto.

Los cables se colocaron manualmente.

Una fase del hormigonado de la losa.





Y puesto que los momentos negativos de la zona próxima son sólo el 20 % del positivo correspondiente al punto de carga, esta transmisión utiliza la capacidad reservada del pretensado de la losa en la parte no cargada; por tanto, se tendrá un descenso en el punto de carga, que se traduce por un aumento de resistencia debido a la contribución del terreno de apoyo para soportar la carga. Al pasar la carga, el pavimento retrocede a su posición original, debido a la acción del pretensado. Este comportamiento básico de los firmes de hormigón pretensado coloca a éstos en una categoría que no se puede decir ni rígida ni flexible, pero que se halla entre los dos extremos y, por tanto, de naturaleza elástica. Por ello, una losa pretensada puede ser considerada como un pavimento elástico.

Así, pues, el criterio seguido exigía un pretensado de magnitud suficiente inicial para evitar que las grietas se abriesen bajo la acción de condiciones de temperaturas extremas, combado y tensiones debidas al efecto del rozamiento de la losa con su apoyo, pero contar con una moderada tensión residual para contribuir a resistir las tensiones desarrolladas por las cargas sobre la losa. Dadas las características de esta losa experimental, la tensión de pretensado en este caso fué de  $31,60 \text{ kg/cm}^2$  en el hormigón.

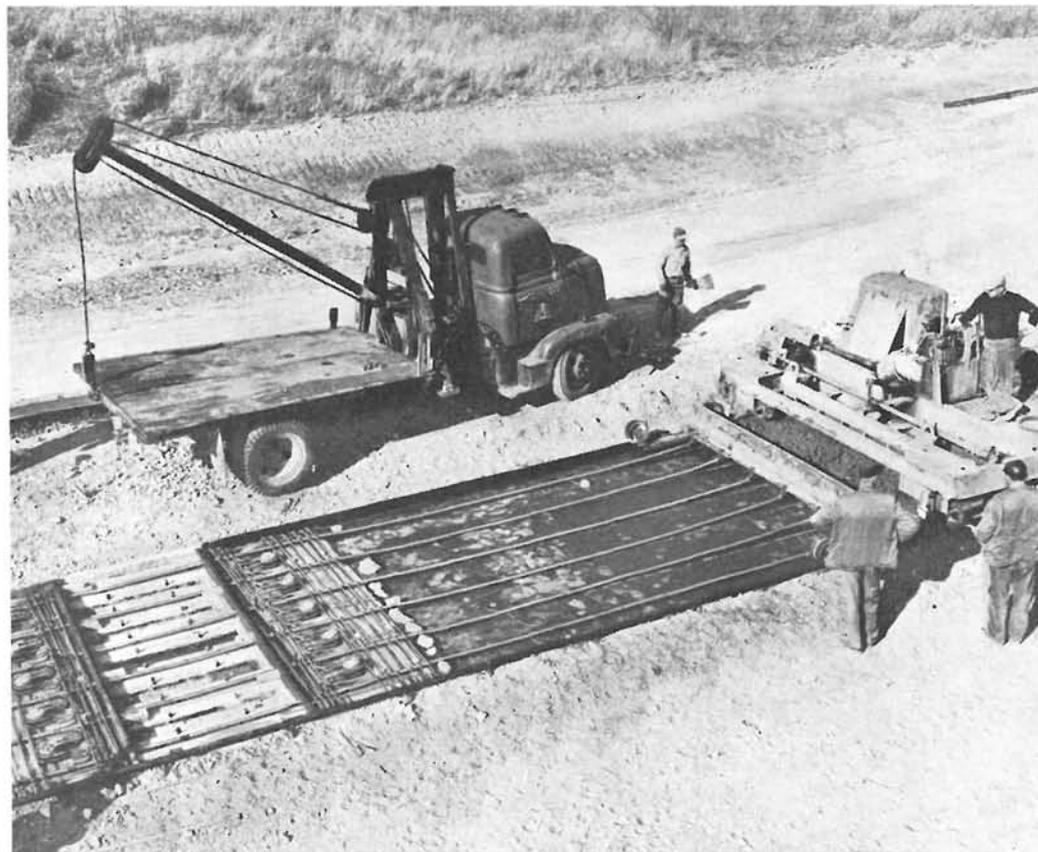
El acero elegido para pretensar la losa dentro de las condiciones más favorables consistió en 24 cordones de 11 mm de diámetro y de  $17,577 \text{ kg/cm}^2$  de tensión de rotura. Teniendo en cuenta las pérdidas por rozamiento, la tensión del acero en los anclajes extremos debía ser de  $8,718 \text{ kg/cm}^2$ , con lo que se debía lograr una compresión de  $31,60 \text{ kg/cm}^2$  en el hormigón.

Para sacar el mejor partido posible del acero del pretensado era preciso que la losa fuese de poca sección, causa que motivó el llegar a un espesor de 13 cm. Con un mismo gradiente de temperatura las tensiones de combado crecen con el espesor, la ventaja económica del pequeño espesor es notable, y, como se necesita un espesor mínimo para recubrir las armaduras, esta sola y única condición es la que ha limitado el espesor elegido.

La longitud de 122 m de la losa ha venido impuesta por las tracciones que crea el rozamiento de ésta con su apoyo, llegando a este valor por influencias de resultados experimentales en otros países.

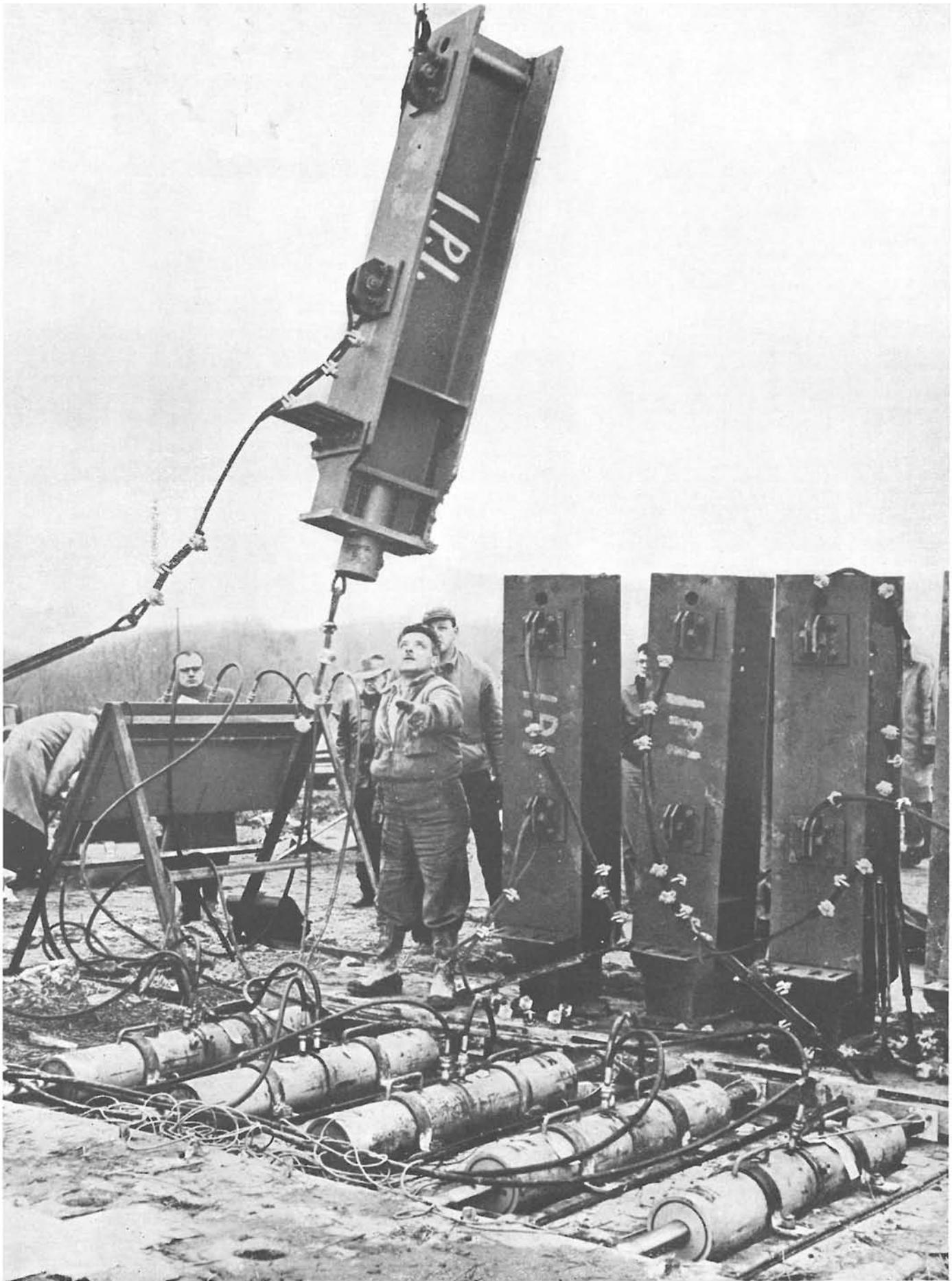
### Junta de dilatación

Un factor de influencia importante, particularmente en la longitud de la losa, es la junta de dilatación. La amplitud del movimiento de la losa no admitía juntas de rellenos con mastiques y pasadores de transmisión de esfuerzos cortantes. Para una losa de 122 metros de longitud y  $37,8^\circ \text{ C}$  de variación de temperatura, el movimiento de la extremidad de la losa es de 76 mm, luz visiblemente excesiva para hallar soluciones acomodables en los rellenos ordinarios.



Anclajes preparados antes de hormigonar.

Anclajes en la zona del hueco central.



Colocados los gatos se montó el bastidor que debía retener el esfuerzo de tesado para retirar los gatos.

Esto no obstante, teniendo en cuenta la influencia que tiene la humedad en la compensación del cambio de longitud de la losa, los 76 mm antes apuntados pueden reducirse a 32 milímetros.

Antes de llegar a la solución final se pensó en un tipo de junta mecánica, en la que se pudiera realizar los movimientos de rótula o articulación, preservarse contra polvos, resistente y de fácil conservación, pero la experiencia lograda en los puentes, donde se han empleado este tipo de junta, no es alentadora.

La transmisión de esfuerzos en las juntas, partiendo de una especie de traviesa inferior, también fué objeto de estudio. La traviesa se halla expuesta a movimientos de rotación por falta de superficie de apoyo contra el suelo y, por ello, se llegó a sustituir la traviesa por una losa de 3,00 m de longitud y 13 cm de espesor, lisa y apoyada sobre una capa elástica de grava, solución elástica muy aceptable.

Debido a los movimientos en las extremidades de dos losas adyacentes, el volumen aparente de los materiales de relleno cambia. Esto exige que la junta se deforme sin abultamiento alguno que rompa la continuidad del plano de rodadura.

Por todas estas consideraciones, entre otras, se pensó en un material elástico-metálico, mixto. El sistema de junta a que se llegó está constituido por una serie de chapas de posición vertical, revestidas con una goma sintética, dejando cilindros huecos en cuyo interior se colocan núcleos, también cilíndricos, dejando espacio suficiente para contener el aumento de volumen aparente en la deformación del material de relleno, evitándose que este exceso volumétrico aparezca en la superficie en forma de burllete agrandado.

De este y otros tipos similares de junta elástica a base de caucho, se hicieron muchos ensayos antes de llegar a la solución apuntada anteriormente. Los resultados finales, satisfactorios, indujeron al empleo de esta junta.

### construcción

La caja del firme se formó siguiendo los procedimientos ordinarios de ejecución. La profundidad excavada fué de unos 0,90 m, que se relleno después por capas sucesivas de relleno arcilloso de 20 cm de espesor. Cada una de estas tongadas se compactó convenientemente.

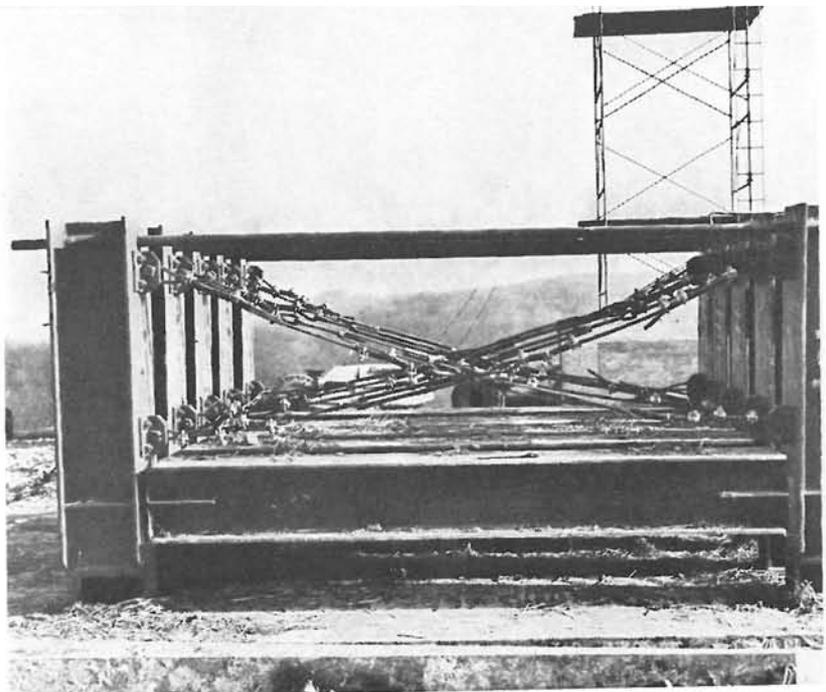
Sobre estos materiales se colocó una capa de 15 cm de potencia de grava y arena, granulométricamente de acuerdo con las normas A. A. S. H. O., tipo 1, grado B, y, para nivelar, se recubrió con 2,5 cm de arena. Sobre la arena se extendió el papel de construcción.

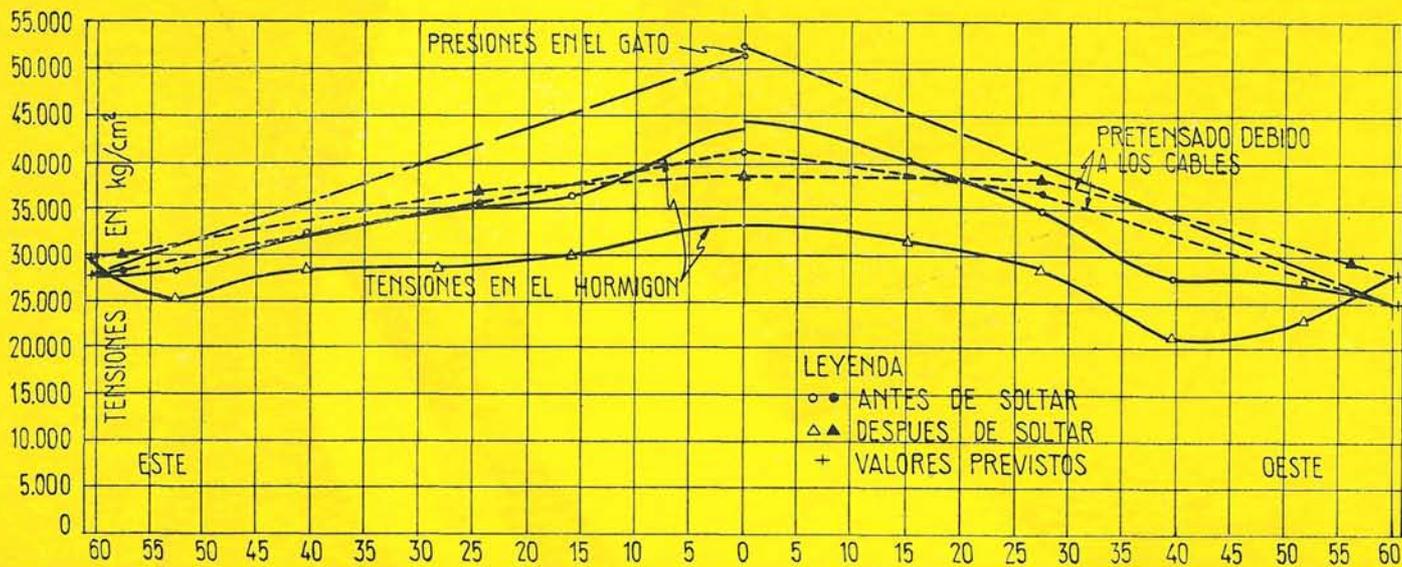
Se colocaron después los cables del pretensado alojados en sus vainas flexibles. Estas armaduras las fabricó la Jones & Laughlin, Empresa que ha hecho este experimento a plena escala por sus propios medios. Cada cable se compone de cuatro cordones de 11 mm de diámetro cada uno, y en cada una de sus extremidades se ha formado el lazo que constituye su anclaje. Colocados los cables provisionalmente, se les hacía pasar por unos trozos de tubo ranurados montados en la parte frontal de la esparcidora. A medida que ésta avanzaba, los iba levantando y manteniéndolos en posición durante el hormigonado.

El bastidor en posición.

Cuadros de control durante el tesado.

Ensayos de carga en el trozo experimental de firme de hormigón pretensado.





Curvas de tensiones en el hormigón, armaduras y gatos durante las operaciones de tesado.

A uno y otro lado de la losa central se construyeron otras dos losas similares, pero de 30 m de longitud cada una.

Para el pretensado se disponía de cinco pares de gatos de 150 toneladas de potencia cada uno, que ponían a disposición una capacidad total de 750 toneladas. Los gatos acoplados por parejas permitieron absorber el recorrido total de 0,60 metros.

Los gatos se colocaron en un hueco dejado en la parte central de la losa. Lograda la tensión de tesado prevista, se colocó un robusto bastidor metálico para mantener el esfuerzo de pretensado, se retiraron los gatos, se hormigonó, y, al fraguar suficientemente, se retiró el bastidor y se terminó de cerrar el hueco.

Al hormigón empleado se le añadió un producto aireante, y se hicieron cuidadosos ensayos para determinar lo más exactamente posible su módulo de elasticidad, que serviría después para el cálculo de deformaciones.

La operación final consistió en inyectar una lechada en el interior de los tubos o vainas de los cables.

### ensayos experimentales

En el programa de ensayos se incluyeron los del suelo, observaciones durante el pretensado, cargas estáticas, de movimiento lento, combado y de comportamiento de juntas de dilatación. No se incluyeron los ensayos de circulación o tráfico. Para todos estos ensayos se utilizó un instrumental muy depurado. Los resultados se han recogido en gráficos y estados.

### proposiciones de carácter práctico para el proyecto de firmes

Como se comprenderá fácilmente, un experimento tan gravoso no podía terminar sin una serie de recomendaciones de carácter práctico para aquellos que se dedican al estudio y redacción de proyectos de pavimentaciones de esta clase. Estas recomendaciones prácticas se pueden resumir así: a) La anchura de la losa será de 7,30 m; su espesor, 13 cm, y su longitud, de 180 m como mínimo a unos 240 m;

b) El acero de los cables se hallará exento de tensiones retenidas; será de gran resistencia; se empleará en la proporción de 2,84 kg/m<sup>2</sup>, y se suministrará enrollado y preparado para su colocación inmediata; c) Se utilizará el hueco central de la losa para tesar las armaduras o, si es practicable, el procedimiento de tesado partiendo de la parte superior de la losa; d) Las juntas de dilatación se equiparán con relleno de neopreno flexible y losa inferior de apoyo para la transmisión de esfuerzos.

La aplicación de estas directivas dan una solución satisfactoria para obtener una pavimentación libre de grietas y de buenas condiciones elásticas.

### conclusión final

Los objetivos básicos del trozo experimental consistían en determinar un tipo de estructura adecuado, la practicabilidad de la construcción y la posibilidad económica de las pavimentaciones de hormigón pretensado; todos estos objetivos han sido logrados.

Las conclusiones que se desprenden de toda esta serie de ensayos y experiencias se pueden resumir brevemente como sigue:

A) Los pavimentos pretensados, únicamente en el sentido longitudinal constituyen una estructura sanamente apropiada estructuralmente.

B) Los procedimientos empleados en la ejecución de este trozo experimental son aplicables a las carreteras en general.

C) Siempre que se utilicen sistemas técnicos de ejecución de producción en masa, este tipo de construcción puede competir con los pavimentos de hormigón armado.

D) La solución que se ha dado a la formación de juntas de dilatación utilizando materiales mixtos de goma sintética y chapas metálicas, tal como se han empleado en este trozo experimental, parece presenta una excelente promesa.

J. J. U.