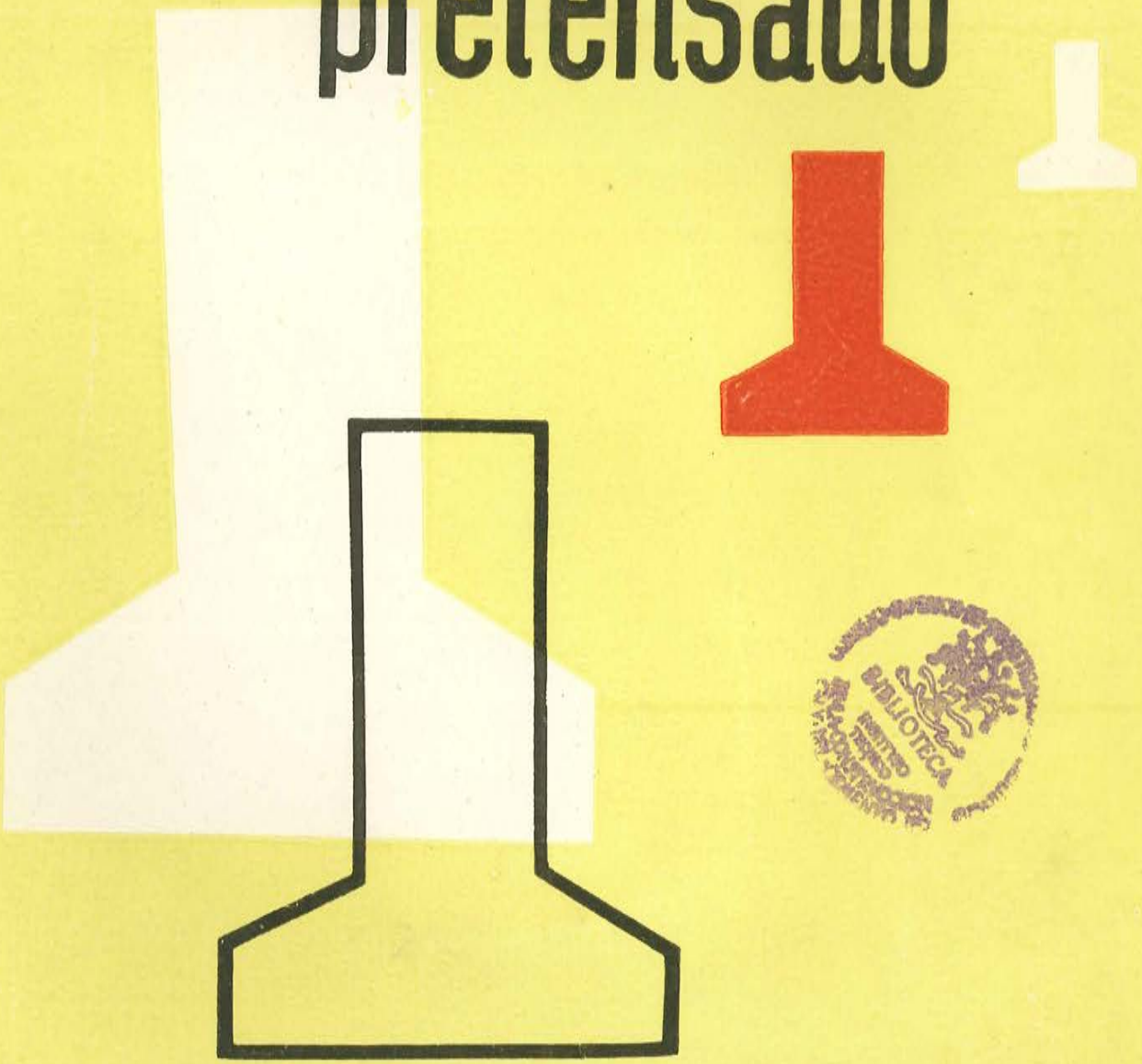
ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

hormigón pretensado



BIBLIOTECA
INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

BOLETIN NUM. 42 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica

U L T I M A S N O T I C I A S

Técnicas en Estructuras

Hormigón Pretensado

Boletín de circulación limitada

Nº 42

Enero-Febrero 1958

BIBLIOTECA INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

I N D I C E

591-1-4 Grandes vigas pretensadas y prefabricadas.- Anónimo

591-5-3 Firmes pretensados para aeropuertos.- T. Cholnoky

N O T A El Instituto, una de cuyas finalidades es divulgar los trabajos de investigación sobre la construcción y edificación, no se hace responsable del contenido de ningún artículo, y el hecho de que patrocine su difusión no implica, en modo alguno, conformidad con la tesis expuesta.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

591-1-4 GRANDES VIGAS PRETENSADAS Y PREFABRICADAS

"Concrete and Constructional Engineering", Oct. 1956

Las vigas pretensadas de la forma que se puede apreciar en la fig. 1, de unos 41 m de longitud y aproximadamente 84 toneladas de peso, se emplearon en la construcción de un hangar para la base de Ogden, de Utah, de las fuerzas aéreas de los EE.UU.

El canto de estas vigas varía de 2,30 m en el centro a 2,00 metros en los extremos. Las alas superiores tienen una anchura total de 1,05 m, y su objeto es el de soportar las losas prefabricadas que forman la cubierta. El alma tiene 18 cm de espesor en la parte superior, pero se ensancha a 0,50 m en la parte inferior y en las extremidades.

Estas vigas se pretensaron siguiendo el sistema Lee-McCall, empleando ocho barras de 28 mm de diámetro en las vigas correspondientes al interior, y de 15 barras similares en las exteriores o de cadena. Los soportes se han espaciado a 9,75 metros. Los soportes centrales están muy juntos, dejando espacio entre ellos para las puertas que van montadas sobre carriles.

Entre las vigas van apoyadas las losas nervadas prefabricadas, de unos 3,35 m de anchura, cuyo peso unitario es de seis toneladas. Cada una de las vigas interiores soporta una carga, debido a la cubierta, de unas 72 toneladas. Las vigas longitudinales tienen un canto de 1,50 metros.

Los encofrados, de los que se utilizaron dos juegos, se prepararon con madera contrachapeada y montados sobre el banco de prefabricación. Estos encofrados se arriostraron exteriormente por medio de un entramado metálico. Se empezaba montando un solo costero del encofrado, colocando después las armaduras del pretensado y otras (fig. 2) antes de montar el otro costero.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

El hormigón se colocaba ayudándose de una grúa, consolidándolo con un vibrado externo e interno. Cuando el hormigón llegaba a una resistencia de 280 kg/cm^2, las vigas se tesaban un 65% del esfuerzo previsto de pretensado que llegaba a 628 toneladas en las vigas interiores y 523 en las exteriores. Después de esta operación se las levantaba con gatos, se las montaba sobre mesillas y se las llevaba al depósito, donde se las ponía sobre unos soportes metálicos (fig. 3).

Las vigas se colocaron en obra con dos grúas (fig. 4).

Del depósito a la obra se trasladaban sobre carriles, acercándose así al alcance de las grúas, las que las depositaban sobre carrillos colocados sobre las vigas longitudinales, haciendo correr las mesillas después, con ayuda de tornos, hasta dejarlas en la posición definitiva. Los tornos se accionaban con motores de medio caballo, logrando correr las vigas a razón de 0,60 m por minuto. Una vez la viga en su posición final se levantaba con gatos, se retiraban las mesillas y se dejaba la viga en posición sobre sus soportes definitivos.

Una vez colocadas las losas de cubierta, se completaba la operación de tesado, anclándolas a sus soportes para constituir una estructura rígida en unión con los soportes.

El hangar fué proyectado por la empresa Roberts & Schaefer & Co, y la empresa encargada de la construcción Jacobsen Construction Co., Ltd. Las armaduras para el acero tesado las suministró Stressteel Corporation of Wilkes-Barre, que explotan la patente del sistema Lee-McCall en los EE.UU.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

591-5-3 FIRMES PRETENSADOS PARA AEROPUERTOS

por Thomas Cholnoky, ingeniero

"Journal of the American Concrete Institute", Julio 1956.

- S i n o p s i s -

Se describe una pavimentación experimental, de 152 m de longitud y 3,65 m de ancho, consistente en una losa de hormigón pretensado. También se estudian las cargas en las armaduras, el desarrollo del pretensado en la losa, la capacidad de carga del firme y el efecto del calor en la estructura. Los resultados han probado el buen comportamiento de la losa en todos los aspectos, lo que permite esperar que este tipo de construcción se pueda utilizar en las pavimentaciones futuras de los aeropuertos.

- - - - - - - -

Introducción.- El uso creciente de aviones reactores y cargas pesadas en los trenes de aterrizaje, ha creado muchos problemas al proyectista de pistas rígidas para aeropuertos. La supresión de las juntas de dilatación se presenta como una exigencia que requiere la buena conservación, pues el dardo de gases caliente del escape de los reactores crea problemas para los materiales de las juntas. A todo esto ha de añadirse que los métodos constructivos corrientes conducen a espesores excesivos, debido a las pesadas cargas de rueda en algunos tipos de aviones modernos.

En 1952, y como parte de la investigación continuada hacia firmes más económicos, el Bureau of Yards and Docks emprendió una orientación para el desarrollo del programa que condujo hacia las posibilidades que se ofrecían al hormigón pretensado en la construcción de pistas de aeródromos. Las investigaciones y estudios preliminares dieron por consecuencia la construcción de una pista experimental, a base de una losa de hormigón pretensado, en Patuxent River Naval Air Station, de Maryland,

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

obra que se realizó en el verano de 1953. El programa de ensayos se empezó en Septiembre del mismo año y se terminó en Mayo de 1955.

Descripción de la losa del ensayo.- La losa tenía 152 m de longitud, 3,65 metros de anchura y 18 cm de espesor. La losa se armó con 23 cables longitudinales, de 15 mm de diámetro y de 7 alambres. En el pretensado transversal se empleó el mismo tipo de cables; pero únicamente en tres puntos elegidos, que se llamaron zonas de ensayo, es donde se concentraron los instrumentos de medida (fig. 1).

Por creer que el postesado era el procedimiento más económico de pretensar, se eligió este sistema, y, con el tipo de anclaje empleado, los cables se podían tesar y aflojar siempre que se desease. Los cables longitudinales se colocaron en dos capas: una superior y otra inferior. Cada capa, tesada independientemente, podía dar tensiones de compresión en la losa de más de 21 kg/cm^2. Los dos grupos de armaduras se emplearon en forma independiente o combinada. La losa se armó también, transversalmente, con 8 barras ordinarias espaciadas a 45 cm, pero sólo en dos zonas (figura 1).

Programa del ensayo.- Los ensayos de los materiales se consideraron como un requisito básico para la propia evaluación de cualquier medida de deformación o tensión. Se hicieron ensayos preliminares en el lugar de la obra para determinar el valor aproximado del coeficiente de rozamiento entre la cara interior de la losa y la base del firme, así como para comparar el comportamiento, en este sentido, de las capas que pudieran reducir dicho rozamiento.

Los ensayos de la losa se concentraron alrededor de los cuatro problemas básicos: a) cargas en los cables; b) distribución del pretensado en el hormigón y pérdidas de tensión por rozamiento; c) capacidad de carga y, d) efecto del calor en la losa.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

El ensayo sobre la losa se empezó inmediatamente después de hormigonar, es decir, en Septiembre de 1953, terminándose en Mayo de 1955, después de los ensayos de calor. En este período, el trabajo sólo se interrumpió de Abril a Diciembre de 1954, debido, principalmente, a que el equipo original de carga, de unas 45 toneladas de capacidad, no era el más apropiado y tuvo que ser sustituído por otro.

Materiales

Cimiento.- La losa se apoya sobre una capa de arcilla y arena, de 0,60 metros de espesor. Sobre esta capa se extendió otra, también de arcilla y arena, que se puso en contacto directo con la cara inferior de la losa del firme. Esta capa se colocó encima de la superficie terminada de la sub-base del firme. Todos estos materiales se extendieron por tongadas de menos de 12 cm, cada una de las cuales se compactaron hasta llegar al 100% de la densidad máxima, determinada por el método modificado del ensayo de Proctor. La superficie terminada de la capa de arcilla y arena debía presentar una superficie lisa, para la que se exigió no existiesen proyecciones o depresiones de más de 3 mm al ser comprobadas con una regla de 3 m de longitud.

Capa para reducir el rozamiento.- Como resultado de ensayos preliminares utilizando losas pequeñas se colocó una capa de arena local, de 25 milímetros de espesor, recubriéndose con papel de construcción, como descanso de la losa. La arena era uniforme en grano y tamaño, pasando el 94% del material a través de una criba de malla Nº 40 y reteniendo el resto en otra del Nº 80.

Hormigón.- Se llegó a la composición del hormigón por medio de ensayos de mezclas. Las Normas exigían una resistencia a la flexión de 53 kg/cm y una resistencia media a compresión de 386 kg/cm^2.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

En la mezcla final se utilizaron 309 kg de cemento y 130,6 litros de agua por metro cúbico. El árido grueso consistió en caliza machacada a un tamaño máximo de 38 mm. Para lograr un 5% de aire contenido en la mezcla se emplearon 0,34 kg del agente aireante plastiment por saco de cemento, es decir, cada 42,63 kg de cemento. También se utilizó en la mezcla un producto adicional llamado darex.

La calidad y características del hormigón fueron objeto de especial estudio. Se obtuvieron muestras en distintas zonas de la losa durante la construcción de éste, ensayándolas después por espacio de un año en el laboratorio. Las probetas de ensayo se curaron en el campo para asimilar las condiciones que prevalecerían en la losa.

La resistencia a compresión, en flexión y módulo de elasticidad se determinaron en el hormigón a las edades de 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 y 360 días. La resistencia en flexión del hormigón en obra se determinó con dos probetas, que se arrancaron del hormigón en los puntos 0 + 60 y 4 + 48 cuando éste tenía ya 580 días de existencia.

Los ensayos de retracción se verificaron sobre tres muestras, durando por espacio de 560 días. Estas probetas también se curaron en la obra y, al medir las variaciones, se tuvieron en cuenta los efectos de la temperatura y el contenido de humedad. Al cabo de 200 días, las probetas se continuaron curando en el laboratorio durante 90 días. Los coeficientes de dilatación del hormigón se determinaron, partiendo de tres muestras, a los 28, 360 y 580 días. En cada caso se tomaron los datos con el espécimen seco y saturado. Los resultados de los ensayos se indican en el siguiente cuadro:

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

CUADRO I

Datos sobre el hormigón (1)

Edad del hormigón (días)	Resistencia en flexión (kg/cm^2)	Resistencia en compresión (kg/cm^2)	Módulo de elasticidad (kg/cm^2)	Retracción unitaria ($1/10^6$)	Coeficiente de dilatación
3	27,7	216	--	--	--
7	42,9	250	--	440	--
14	50,6	339	227.790	510	--
28	56,7	364	235.530	560	0,00000616
60	59,7	372	250.290	500	--
90	61,5	377	262.250	520	--
180	62,2	419	286.610	410	--
360	67,8	455	296.700	330	0,00000654

(1) Datos medios.

Cables del pretensado.- Los cables del pretensado, de 15,2 mm de diámetro, pesan 1,11 kg por metro y están constituídos por siete alambres de acero galvanizado en caliente. La tensión inicial recomendada para estos cables es de 9.843 kg/cm^2 y un módulo mínimo garantizado de elasticidad de 1.687.400 kg/cm^2. Los cables fueron trefilados por J. A. Roebling's Sons Corp. y suministrados con el tipo normal de terminal.

Recubrimiento para los cables.- Durante el proyecto de la losa se pens en dos tipos prometedores de materiales para el revestimiento de los ca bles. Uno de ellos era el papel Sisalkraft, de bajo costo como material pero caro respecto a la mano de obra que requiere su empleo. Como una s lución posible, y después de una investigación cuidadosa, se eligió un m terial plástico, tubular, llamado Aeroflex, que era más caro pero econó micamente más ventajoso en lo que a mano de obra se refiere.

Ensayos preliminares de rozamiento.- Al proyectar el ensayo de la losa experimental, se puso de relieve la necesidad de una investigación pr

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

liminar para determinar los procedimientos más económicos de llegar a reducir convenientemente los efectos del rozamiento de la losa. Se empezó, de acuerdo con las condiciones exigidas, por colocar cuatro losas, de 2,44 x 0,91 x 0,18 m, en otros tantos lugares, tan pronto como la preparación de la sub-base de firme lo permitía. La colocación de cada una de estas losas se realizó de la manera siguiente:

Losa Nº 1 - Sobre una capa de 25 mm de arena, cubierta con papel de construcción.

Losa Nº 2 - Sobre dos capas de papel de construcción.

Losa Nº 3 - Sobre dos capas de papel Sisalkraft, recubierto de cobre y con las dos caras de cobre en contacto, esparciendo entre ellas polvo de jabón.

Losa Nº 4 - Sobre la base preparada y sin intermedios.

En la figura 2 se pueden ver los detalles de la disposición general tomada para medir los movimientos de la losa. El esfuerzo para tirar de la losa lo suministraba el mismo gato de mano que, posteriormente, se utilizó para el pretensado de cables. El esfuerzo al tirar, ejercido por el gato sobre la losa, se midió con un dispositivo similar al empleado para medir las cargas de los cables.

Se llegó a la ruina o rotura de la superficie de apoyo de la losa a los cinco minutos, en los que descansaban sobre un medio para reducir el rozamiento; este período de tiempo fué algo mayor en las losas que descansaban directamente sobre la base preparada. Los resultados de los ensayos se recopilan en el adjunto cuadro Nº II, donde se dan los coeficientes máximos de rozamiento en el momento de la ruina, así como los correspondientes al momento en que deslizaba la losa. Como consecuencia de estos ensayos, se llegó a lo que se cree mejor solución, es decir, una capa de arena de 25 mm cubierta con papel de construcción (losa Nº 1).

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

Cuadro Nº II
Ensayos de rozamiento

Nº de la losa	Coeficiente de rozamiento (En la ruina)	(Al deslizar)	Movimiento antes de la ruina (mm)
1	0,72	0,60	1,14
2	1,13	0,55	1,00
3	0,77	0,63	0,45
4	5,15	1,10	0,30

Instrumentos.- En las zonas A_1 y A_3 se colocaron extensímetros-modelo Carlson-, que se dispusieron en la losa como se indica en la figura 3, con objeto de hallar las tensiones y deformaciones en estas zonas del hormigón durante los ensayos de carga. También se colocaron extensímetros de este tipo con el fin de determinar las presiones del hormigón en la misma zona. La deformación longitudinal de la losa se determinó, en primer lugar, partiendo de las lecturas efectuadas en los extensímetros Carlson-llamados tipo en "L"-, colocados como se puede apreciar en la figura 4. En cada zona de observación y medida se colocaron cuatro de estos instrumentos. Tanto los extensímetros para compresión como para la tracción, se podían emplear para comprobar la temperatura del hormigón en cualquier momento.

Las cargas en los cables se midieron con manómetros montados en los gatos hidráulicos, así como midiendo el alargamiento de varillas especiales intercaladas en la longitud de algunos cables (fig. 5). Los alargamientos de estas varillas especialmente calibradas se midieron con micrómetros tipo Metzger.

El efecto del calor de los reactores y su disipación a través del espesor de la losa se midió con termopares. Los 39 termopares empleados se acoplaron a 19 instrumentos registradores de la temperatu

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

ra. Estos instrumentos se instalaron en un cuadro, permitiendo así que una cámara cinematográfica pudiera tomar una vista por segundo durante los ensayos de calor.

Para medir las deformaciones por flexión durante los ensayos se emplearon cuadrantes multiplicadores. Este tipo de cuadrantes también se utilizaron durante cortos lapsos de tiempo para hallar la variación de longitud de la losa.

Construcción.- La preparación de la base y la capa que debía reducir el valor del rozamiento no fué una labor corriente.

La manipulación y revestimiento de los cables de pretensado, de 152 m de longitud, resultó ser bastante costosa y consumir mucho tiempo. Tanto el papel utilizado para revestir los cables como los tubos de plástico, se tuvieron que aplicar a mano. Esto encareció el ensayo, ya que aun contando con bancos de trabajo, el manejo de estos cables tan largos y las operaciones subsiguientes eran de difícil ejecución, a lo que hay que añadir los problemas que plantearon para su colocación en obra.

Antes de colocar los cables longitudinales se prepararon los anclajes provisionales en las dos extremidades de la losa, a los que se unieron tensores. Después de colocar los cables se les unió a estos anclajes y se procedió a ejercer un esfuerzo inicial de 680 a 907kg en cada cable por medio de los tensores (fig. 6), permitiendo así extenderlos bien y en la posición debida. Los cables se soportaron con camillas, colocadas 1,80 m de distancia entre ejes, para eliminar las grandes flechas y lograr que las vainas siguiesen un trazado tan recto como fuera posible.

El hormigonado se terminó en unas 11½ horas (fig. 7). Para facilitar el extendido y acabado, el hormigón fué aumentando gradualmente su docilidad hasta darle 89 mm en el ensayo de asiento.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

Al día siguiente de hormigonar se inspeccionó la superficie, encontrándose dos grietas transversales que se extendían a través de todo el espesor de la losa.

Tesado de los cables.- El anclado provisional se soltó un día después de haber colocado el hormigón; después se procedió a inspeccionar uno por uno todos los cables, tirando de ellos a través de sus vainas, sin que ninguno diera signos de haberse adherido o pegado.

Al tercer día de haber hormigonado empezó la primera operación de tesado. Los primeros cables tesados fueron los de la parte superior, empezando en el centro con el Nº 11 y continuando, alternativamente, hacia los dos lados de la losa, es decir, hacia el Nº 1 por un lado, y hacia el Nº 23 por el otro. Después de terminar con las armaduras superiores se emprendió la misma operación con los cables de la parte inferior, ejecutándola de una forma similar. Se emplearon dos gatos, uno de ellos se accionó eléctricamente y el otro manualmente. Puede afirmarse que, en general, el gato eléctrico era más favorable, máxime si se tiene en cuenta que cada cable debía reducir su longitud prevista de 0,90 metros.

El proceso durante esta primera operación de tesado resultó ser más complicado que el de las operaciones posteriores, debido a las numerosas medidas que hubo de hacerse en las varillas especiales. Durante las primeras operaciones de tesado, fué el alargamiento de los cables el factor determinante de los límites del pretensado. Las cargas se comprobaban con los manómetros de los gatos de cada una de las dos extremidades del cable, y también con ayuda del alargamiento medido en las varillas especiales.

Los cables no se tesaron nunca simultáneamente de los dos extremos; por el contrario, desde un extremo solamente se llegaba al 50% de la tensión prevista en el proyecto, que es de 13.600 kg, dejando el otro

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

50% restante para hacerlo a partir del otro extremo. Este procedimiento se alteró ligeramente después, pues se pudo comprobar que las cargas inducidas en una sola extremidad no se repartían uniformemente a lo largo de todo el cable, por lo que, como una tercera medida de prevención, la carga correspondiente al primer tesado de una extremidad se volvía a comprobar y si fuera necesario, se añadía una carga final.

Cargas y pérdidas durante el tesado.- Durante la primera operación de tesado y la subsiguiente de afloje, el problema de desarrollar y mantener la carga deseada en los cables se resolvió cuidadosamente.

Doce de los 23 cables se equiparon con las varillas especiales para medir los alargamientos (fig. 5). Estos 12 cables representaban cuatro grupos distintos:

1) - Tres cables de la capa superior, provistos con vainas tubulares de material plástico.

2) - Tres cables de la capa superior, revestidos con papel.

3) - Tres cables de la capa inferior, con vaina de plástico.

4) - Tres cables de la capa inferior, revestidos con papel.

Era tal la disposición general de estos cables que, en ciertos casos, la pérdida de carga entre la extremidad del gato y la del anclaje se podía medir. Seis de los cables iban provistos de una varilla especial de medida colocada en la parte mediana de cada uno de estos cables (fig. 5). Durante el tesado de estos cables, las medidas sobre las varillas especiales se hicieron siempre que los gatos hidráulicos tenían que ser reajustados, cosa que sucedía cada acortamiento de 15 centímetros.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

Los resultados de las medidas tomadas se han representado en la fig. 8, que corresponde a cables con vainas de material plástico y revestidos con papel. Las cargas medidas en las varillas especiales se han transportado en el diagrama en función del alargamiento en la extremidad del gato. En los diagramas se indica tambien la extremidad o lugar a partir del cual se tesaban los cables. La línea teórica que se da en estos diagramas representa la relación entre la carga y el alargamiento de los cables, basada en un módulo mínimo de elasticidad de 1.687.400 kg/cm^2, si la carga aplicada se repartiera uniformemente en toda la longitud del cable.

Los resultados de estos primeros ensayos manifiestan una pérdida considerable de carga por rozamiento, en los cables revestidos con papel, particularmente en la capa inferior. Por otra parte, estos ensayos han probado que las pérdidas por rozamiento pueden reducirse a un valor despreciable en cables de 152 m de longitud, postesados, si se los engrasa y recubre con un material bastante rígido.

Las condiciones más desfavorables se observaron en el grupo Nº 4, donde en dos casos extremos no se transmitió, prácticamente, ninguna carga de una extremidad a la otra después de un acortamiento aproximadamente mitad del previsto, por lo que se tuvieron que llevar los gatos de un extremo al otro. Las pérdidas por rozamiento eran más bajas cuando la carga inducida era menor, ya que en este momento los cables era relativamente flexibles. Las pérdidas por rozamiento observadas en los cables de los grupos Nº 2 y Nº 3 fueron muy similares, así como las características del pretensado, debido a que las pérdidas por rozamiento eran pequeñas.

Los resultados más favorables se lograron con los cables revestidos con tubos de material plástico pertenecientes a la capa superior. La media de las pérdidas por rozamiento no rebasó el 5%. En la c

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

pa inferior, los cables que tenían este mismo revestimiento tuvieron una pérdida media por rozamiento del 19%. Los cables revestidos con papel que formaban parte del mismo conjunto dieron pruebas de una pérdida por rozamiento del 15 y 62%. En ningún caso se observó adherencia entre el hormigón y cables.

Pérdidas posteriores del pretensado.- Las cargas de los cables se comprobaron varias veces antes de retirar los gatos, operación que se realizó unos 60 días después de empezar la primera fase de tesado. Debido a las distintas condiciones existentes al tesar los cables, cargas distintas y diferencias iniciales entre sus dos extremidades, no es fácil indicar las pérdidas de tensión en todo este período de 60 días con una cifra que dé la pérdida general en por ciento. Como los cables presentaban una diferencia de carga entre sus dos extremidades, así como un mínimo de carga en sus puntos intermedios, cualquier pérdida de tensión que se pudiese medir es más probable que obedezca a una compensación entre estas diferencias que el resultado de una deformación plástica o elástica en el hormigón o acero.

Sólo en los casos de los cables N°s 15, 19 y 23, que son los que presentaron menor pérdida por rozamiento, podría admitirse que la diferencia de las cargas medias efectuadas en las dos extremidades durante el tesado inicial y al retirar los gatos, sería un indicio de pérdidas por retracción, deformación lenta en el hormigón y en los cables. Las pérdidas medias en estos tres cables fueron el 10%. En los grupos de cables N°s 2, 6 y 10, en los 3, 7 y 11 y en los 14, 18 y 22 las pérdidas fueron respectivamente, del 9, 10 y 15%.

El acortamiento total de la losa a los 60 días no fué mayor de 50 mm. Puesto que el pretensado de todos los cables se terminó a los 30 días, se puede admitir, razonablemente, que la media del acortamiento de la losa afectando a los cables no era mayor de 25 milímetros. Este aco

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

tamiento representaría una pérdida de unos 362 kg, o lo que es igual, el 3% de la media de la carga inicial de 13.154 kg. También se puede suponer que la relajación del acero condujo a una pérdida del 6 al 7% y, por tanto, que el resultado total se aproxima mucho al 10% de pérdidas medidas.

Desarrollo del pretensado en la losa; rozamiento en la base.- Al tesar los cables, éstos ejercen cargas en las dos extremidades de la losa, y éstas cargas crean tensiones en la sección de hormigón. A estas tensiones les acompaña una deformación que resulte en un acortamiento de la losa. Contra este acortamiento resiste el rozamiento en la base del firme, por consiguiente, las cargas aplicadas crean tensiones que se reducen debido a la acción de las fuerzas opuestas del rozamiento. Para estudiar el desarrollo del pretensado en la losa a lo largo de su longitud, se colocaron elongámetros en cuatro zonas (fig. 4).

Se comprenderá fácilmente que, además del pretensado, existen otros factores, que dieron lugar a variaciones de la deformación y, por tanto, éstos han de ser considerados al evaluar los resultados de los ensayos. Los más importantes en este sentido son las variaciones de la temperatura y de la humedad. Ambos producen cambios volumétricos en el hormigón, variaciones que pueden realizarse sin ser acompañados de tensiones de no ser que dichos cambios se operen con coacción, como ocurre en el interior de una sección de hormigón donde se halla presente el rozamiento de la base.

El efecto posible de las variaciones de temperatura puede expresarse por medio del coeficiente de dilatación del hormigón. Los valores obtenidos de probetas han dado dos series de valores, que van de 6,22 a 5,13 millonésimas para las muestras secas y de 6,38 a 5,28 millonésimas para las húmedas, cifras que indican que un cambio de 50° de temperatura(e

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

cala Fahrenheit, en la que $1^{o}C = 1,8^{o}F$ absolutos) daría una dilatación d 300 millonésimas.

Resulta mucho más difícil evaluar el posible efecto de la re tracción debido al contenido de humedad. A esta finalidad se tomaron med das sobre probetas sometidas a las condiciones de la obra, así como, aun que por un pequeño período de tiempo, bajo las condiciones de laboratori Los resultados de las medidas tomadas con las mismas condiciones que en l obra incluyeron, naturalmente, el efecto de los cambios de temperatura. De pués de las correcciones necesarias de temperatura, los resultados diero una variación extrema del orden de 200 millonésimas. La retracción inici que apareció durante los 28 primeros días se despreció.

Las cifras anteriores son considerablemente superiores a las deformaciones correspondientes a la carga de 48,50 kg/cm^2 que el pre ens do transfirió al hormigón de la losa; por todo ello, es evidente que lo errores cometidos al determinar la deformación debida a las variaciones d temperatura y contenido de humedad, deben haber tenido una influencia co siderable en la deformación que indicaba el efecto del pretensado.

Las deformaciones leídas en los dos extremos de la losa pre - sentaban un problema menor, porque se podía suponer que todas las deforma ciones se desarrollaron libremente. En las secciones interiores de la lo- sa, estas deformaciones no se pudieron desarrollar libremente debido al r zamiento en la base.

No cabe duda que antes de aplicar el pretensado, los cambios d temperatura y variaciones del contenido de humedad crearon tensiones en e hormigón de la losa. Estas fuerzas están en equilibrio con las opuestas a que da lugar el efecto del rozamiento en la base, el cual no es constante, sino que varía con las cargas que sustenta la losa, así como con los cam - bios de temperatura y humedad contenida en la base. Los cambios volumétri

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

cos del hormigón, especialmente aquéllos debidos a la variación de la temperatura, se hallan sometidos a las fluctuaciones diarias y de la estación anual. Estas fluctuaciones causan consecuentes contracciones y expansiones en la losa. Las fuerzas de rozamiento varían de acuerdo con estos cambios y tienen una tendencia alterna al aumento o disminución.

Las condiciones gobernantes de las tensiones en la losa después de aplicar el pretensado, influenciaron la eficacia con que las tensiones introducidas se pueden distribuir a través de toda la longitud de la losa. El hecho de que los cambios volumétricos con coacción y el rozamiento de la base representa una condición de fuerzas en equilibrio indicaría que, por la simple superposición, las fuerzas del pretensado se podrían desarrollar prácticamente sin pérdidas.

La tendencia creciente o decreciente de las fuerzas de rozamiento y la variación cíclica de contracción o expansión son, sin embargo, de importancia real cuando se ha de determinar el desarrollo del pretensado. Las pérdidas en el pretensado serían mínimas cuando se deba aplicar éste durante el período en que la losa tiene una tendencia a contraerse, y cuando la mayor parte de la resistencia de la base por rozamiento se disipa por los cambios volumétricos con coacción, es decir, en el momento en que la losa es lo más corta posible.

Los ensayos preliminares de rozamiento, realizados antes de la construcción de la losa, no dieron los valores de rozamiento que se esperaban bajo una banda de pavimentación de 152 m de longitud.

Después de las observaciones preliminares se estableció un programa detallado para el estudio del desarrollo del pretensado entre diciembre de 1954 a mayo de 1955. La losa se tesó y aflojó repetidas veces, y se hicieron numerosas lecturas en los numerosos elongámetros antes y después de cada una de estas operaciones. Los valores medios de estas lecturas se

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

emplearon en los cálculos y parece que son satisfactoriamente indicati vos.

Los resultados dieron pérdidas bajas en todos los casos co rrespondientes a los ensayos de diciembre a abril. En la mayoría de lo casos se puede suponer que, con temperaturas bajas, el proceso del pre tensado se puede desarrollar sin pérdidas.

Esta condición cambió considerablemente después de abril, cuando el aumento de temperatura causó la dilatación de la losa, contr rrestando en cierto grado el libre desarrollo de las fuerzas de preten sado. Esto se pudo comprobar fácilmente al aflojar la losa de una ten- sión de 42 kg/cm^2 o, para después volver a tesar a 48,5 kg/cm^2. Durant el período de afloje no parece existir ninguna compresión remanente en los puntos o estaciones interiores. En estas condiciones, los síntomas de deformación eran menores; sin embargo, al pretensar la losa, la def mación era del 20 al 25% más baja que los valores registrados en la ex- tremidad. Interpolando estos valores se pudo comprobar que las pérdida eran del 30% en el centro de la losa de 152 m de longitud, que se eleva rían a 12,3 kg/cm^2, dando un coeficiente de rozamiento algo más bajo de 0,7.

Los últimos ensayos se realizaron para determinar el efect de la repetición del pretensado. Al aflojar el 1º de mayo de 1955 se co probó una compresión residual de 19,60 kg/cm^2 en el centro de la losa. De pués de haber realizado el pretensado repetido del 4 de mayo, las defor maciones medidas indicaban una tensión adicional de compresión de 35,8 los centímetro cuadrado en el centro. Puesto que el total de estas fuer zas se eleva a 55,5 kg/cm^2, que es más de la tensión de pretensado intr ducida de 48,50 kg/cm^2, se puede suponer que la compresión residual de 19,60 kg/cm^2 decreció algo durante los tres días del intervalo.

Los resultados de los ensayos indicaron claramente que, por

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

proceso de repetición, se puede aumentar considerablemente la eficiencia del pretensado.

Los ensayos indicaron también que no existe un factor constante, que pueda expresar las pérdidas con un coeficiente de rozamiento dado en un momento determinado. El valor máximo medido de 0,7 parece ser un límite conservador, pero se cree que, con la introducción del pretensado, cuando los cambios de volumen tienen una tendencia para producir una contracción del pavimento, este coeficiente de rozamiento se puede disminuir considerablemente. También se cree que para los usos futuros se puede emplear un coeficiente de rozamiento de 0,5, repitiendo el pretensado varias veces para aumentar el desarrollo de la eficiencia del pretensado en la pavimentación con pérdidas mínimas.

Un efecto mucho más evidente del desarrollo de fuerzas del pretensado se demostró en las dos grietas de retracción. Estas grietas se abrieron hasta algo así como 1,5 mm antes de inducir el primer pretensado, pero se cerraron gradualmente a medida que se iba aplicando el pretensado. Las grietas permanecieron cerradas y difícilmente visibles durante el período de aplicación del primer pretensado pero se abrieron después de aflojar por primera vez, cerrándose después tan pronto como se volvió a aplicar el pretensado. Después de la aplicación de este segundo pretensado apareció cierto desconchado alrededor de las aristas irregulares.

La variación de longitud de la losa se dedujo de las medida de deformación. Estas lecturas no se hicieron continuamente, ni coincidieron con las condiciones extremas. Sin embargo, se supone que la medi de estas lecturas da una idea general de los cambios totales de la losa durante los distintos períodos de los ensayos. La retracción máxima de l losa se presentó en diciembre de 1954, cuando la losa se tesó a 21 kg/cm En este momento, la losa se acortó unos 65 mm. La temperatura media de la los tomada en este momento fué de -2,78°C, mientras que la temperatura orig

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

nal al empezar las medidas de las deformaciones era de 23,9°C.

Ensayos de carga.- Resumiendo el proceso de estos ensayos se puede decir que, en total, se realizaron 29 ensayos de carga al probar la losa. Estos ensayos se efectuaron bajo diferentes condiciones, pues se hizo variar el pretensado, posición de la placa y dimensiones de la misma. Estos ensayos se han recopilado en el cuadro III.

La mayor parte de los ensayos se llevaron a cabo en los centros de las dos zonas de carga A_1 y A_3, donde se concentraron los elongámetros para la deformación y compresiones. Se comprenderá fácilmente que la poca anchura de la losa, con bordes libres, no reproduciría exactamente las condiciones que existen en los pavimentos de los aeródromos. La forma geométrica de la losa era tal, que las inflexiones se aproximarían a las de una losa infinita en ambas direcciones. Algunos ensayos se hicieron en el borde de la losa y, para determinar los efectos de la fisuración, se investigó la capacidad de carga de la losa en las dos grietas de retracción.

El diámetro de las placas utilizadas para aplicar las cargas variaba de 5 a 50 cm. La intensidad del pretensado longitudinal y transversal de la losa, también se sometieron a una variación durante los ensayos. En el curso de estos ensayos se midieron las inflexiones en las proximidades del perímetro de las placas sobre las que se aplicaba la carga. En los ensayos de carga realizados en las dos zonas a este fin elegidas, se hicieron las lecturas de los elongámetros de deformación y de compresión.

Ensayos de carga en el interior de la losa.- Los primeros siete ensayos de carga se hicieron sobre las zonas A_1 y A_3, variando la intensidad del pretensado y tamaños de las placas (Cuadro III). Los resultados de estos ensayos concordaban estrechamente, sin que se hallase indicación alguna res

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

pecto al efecto del tamaño de la placa y de la intensidad del pretensado en las inflexiones. La conclusión de estos ensayos se tradujo en que el esfuerzo de tesado de 45.360 kg en aquel momento disponible era muy inferior a la capacidad de carga actual de sustentación de la losa y, por tanto, se aplicó la misma carga sobre una placa de 76 mm (ensayo Nº 11) y después sobre una de 50 mm (ensayo Nº 12). Estos dos ensayos se hicieron en el punto o estación 1 + 43, donde se indujo un esfuerzo de tesado longitudinal de 21 kg/cm^2, sin que se aplicase ningún pretensado transversal. Estos ensayos se correspondían muy bien, y dieron lugar a inflexiones mucho mayores que las que se habían medido previamente. También pusieron de manifiesto la gran resistencia de la losa a flexión y esfuerzos cortantes, ya que la carga aplicada era elevada y repartida en pequeñas superficies, dando concentraciones de 984 kg/cm^2 y hasta 2.109. El único signo visible dejado sobre la losa después de los ensayos, fué una huella de 3 mm de profundidad bajo la placa de 50 milímetros.

El efecto de estas cargas fué observado algunos meses después, debido a la aparición de una grieta longitudinal sobre los dos lados del punto de aplicación de la carga. Esto es probable sea el resultado de una fisuración inicial en el fondo de la losa que se abrió camino a través de toda la sección, como consecuencia de cambios cíclicos volumétricos (figura 9).

Después de obtener un nuevo equipo de carga de 90.700 kg de capacidad, se realizaron cuatro ensayos de carga (ensayos N°s 15, 17, 18 y 21).

El perfil transversal de la inflexión en la losa resultó ser completamente diferente en los dos ensayos hechos sin pretensado. En la estación 3 + 60, donde no existían armaduras transversales, las inflexiones aumentaron súbitamente entre las cargas de 45.360 y 68.000 kg. Además, las características de las curvas de inflexión cambiaron, mostrando una ten-

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

dencia a elevarse en los bordes al exceder la carga de los 45.360. Esto se podía esperar si se comprende que la primera fisuración de la losa tuvo lugar en forma de grieta longitudinal en el fondo de la losa. Esta fisuración se desarrolló también probablemente, en la estación 0 + 83, pero allí, las armaduras transversales ofrecieron suficiente resistencia al aumento de esta grieta y, por ello, se redujeron las inflexiones. En los dos ensayos se observaron grietas similares sobre la superficie al llegar a una carga de unos 81.000 kg (fig. 9).

La presencia de armaduras transversales resultó ser de efectos favorables. Aunque fué imposible establecer en que cantidad logró aumentar la capacidad de carga de sustentación, las inflexiones medidas bajo las mismas cargas fueron suficientemente significativas.

La carga de 90.700 kg no fué suficiente para producir el momento de ruptura de la losa pretensada. Los ensayos de carga N°s 15 y 17, ejecutados con intensidades de pretensado de 21 kg/cm^2 en el sentido longitudinal y de 16,80 kg/cm^2 en el transversal, dieron inflexiones comparables, aunque el primero de ellos se hizo con una placa de 50 cm y el segundo con otra de 20.

El hecho de que durante el ensayo Nº 17 la placa punzonó a la losa cuando se cargó con 85.727 kg no debe interpretarse mal. Esto supone una indicación de la resistencia de la losa, porque la ruina se presentó debido al esfuerzo cortante bajo una concentración extremadamente elevada de la carga, del orden de 281 kg/cm^2, situada en una zona en la que la sección del hormigón había sido considerablemente debilitada por la inserción de los elongámetros de deformaciones y de compresiones. El hecho de que la resistencia del hormigón en esta estación era algo inferior al correspondiente al área de ensayo en A_1, y que en el área del último ensayo el hormigón tenía armaduras transversales, debe ser tenido en consideración.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

Las medidas de la inflexión en las áreas del ensayo donde la losa se había pretensado en dos direcciones, se puede comparar favorablemente con las medidas tomadas en estaciones cargadas sin que exista pretensado. Tales comparaciones indican que la losa pretensada sufrió una inflexión con una carga máxima de 90.710 kg, similar a la de la losa sin pretensado sometida a una carga de 36.300 kg (fig. 10).

Basándose en las características de la losa sin pretensado, se podría predecir que la losa pretensada no debería llegar a la ruina con una carga de 158.750 kg. Este supuesto no tiene consideración completa del gran margen de resistencia corrientemente observada en los miembros de hormigón pretensado, pero deja prever grandes inflexiones sin excesivas tensiones locales. Se cree además, que toda la ventaja de las pavimentaciones de hormigón pretensado podrían utilizarse permitiendo una fisuración temporal en las secciones de hormigón. Esta fisuración sólo produciría una discontinuidad temporal del pavimento, y estableciéndose la integridad de la losa al quitar las cargas excesivas, debido a su energía inherente de compresión.

Un fenómeno notable observado en el curso de estos ensayos, consiste en la gran habilidad de la losa pretensada para recobrar su estado inicial después de quitar las máximas cargas aplicadas. La recuperación instantánea después de retirar las cargas no fué nunca inferior al 85%, y esto ocurría aun cuando la sub-base no pudiese recobrar dentro de los límites de las deformaciones observadas.

Puesto que se consideró que no era práctico obtener un equipo de carga capaz de 136.000 a 181.430 kg, las últimas series de ensayos de carga se realizaron con una carga máxima disponible de 90.710 kg, aplicándola en ciclos cortos y midiendo las deformaciones en cada uno de ellos (Ensayos de carga N°s. 22, 23, 24 y 26). Estos ensayos, aunque no aclararon los problemas que se investigaban, demostraron la alta capacidad de

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

sustentación de la losa, así como su habilidad para recobrar el estado inicial. No se llegó a condiciones límite, capaces de probar el efecto de tensiones de pretensado de 21 a 42 kg/cm^2.

El último ensayo de carga, Nº 29, se realizó cargando sobre un platillo de 20 cm y utilizando la carga disponible de 90.710 kg. La losa soportó esta carga máxima, aun con semejante concentración, sin que por ello diera signo de deterioro. Sin embargo, la deformación máxima medida mostró un aumento respecto al obtenido bajo la misma carga, pero aplicada sobre una placa de 50 centímetros cuadrados.

Los elongámetros para determinar la compresión, instalados en las zonas A_1 y A_3, se emplearon para hallar la reacción de la base y la distribución bajo la carga de una parte de la losa. Con la curva conocida de deformaciones, fué posible establecer la relación entre compresiones y deformaciones en varios puntos del área de ensayo. Esta relación, a la que se la designa por K, en kg/cm^2, o capacidad de sustentación de la base, se mostró variable, con tendencia al aumento a medida que crece la compresión en los límites más elevados de las deformaciones.

Estas conclusiones indicaron que el supuesto básico de la teoría de Westergaard respecto a la variación proporcional de las presiones con las deformaciones no era aplicable en este caso. La explicación a esta contradición es que lo supuesto solamente es válido dentro de un campo limitado de presiones. El comportamiento parece que sigue con mayor aproximación una ley logarítmica entre la presión y la relación de huecos.

En la figura 11 se muestra un caso del ensayo de carga Nº5, en el que la relación entre la deformación y presión da un valor de 80 para K, dentro de un campo de variación de deformaciones, de 0,25 a 0,50 milímetros, y un valor considerablemente mayor para K, de 420, en las de

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

formaciones que exceden de 1,27 mm. Esto demuestra el aumento de la consolidación producido por una carga mayor sobre la base. Bajo estas condiciones extremas de las deformaciones no se podía esperar la recuperación de la base, aunque la base mostrase un comportamiento excelente. Se supuso que, después de una deformación excesiva y retirar la carga, permaneció un hueco entre la base y la losa.

Esta suposición se comprobó después al hacer un ensayo especial de carga (Nº 27), en el que se aplicó la carga máxima de 90.710 kg en varios aumentos sucesivos, midiendo simultáneamente las deformaciones máximas y la presión máxima adyacente a la carga y directamente bajo ésta. El resultado de este ensayo indicó claramente que no había contacto entre la cara del manómetro en la superficie inferior de la losa y la base, hasta que la deformación llegó a 2 mm bajo la carga aproximada de 45.360 kg. En este punto el valor inicial de K fué de 200, aumentando a 450 bajo la carga máxima de 90.710 kg y una deformación de 3,91 mm(figura 12).

La tensión en la sección de hormigón de la zona cargada en el ensayo se midió con elongámetros. Las lecturas se hicieron durante varios ensayos de carga. Estas medidas se compararon con las deformaciones de perfiles, con objeto de determinar las tensiones máximas en el hormigón. También sirvieron para indicar el punto en que aparecía la fisuración en el hormigón.

Debido a la deformación de la losa en la zona cargada se pueden desarrollar algunos movimientos coactivos, que podrían variar considerablemente las medidas donde las deformaciones son pequeñas.

Puesto que se hicieron muchos ensayos de carga en las dos zonas ensayadas, el aumento progresivo del número de grietas influenció la medidas del elongámetro. Por estas razones, las medidas de los elongámetros se consideraron, en principio, como datos auxiliares para comparar

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

tensiones de ellos derivadas con las deformaciones.

Los resultados de las tensiones de la figura 13 se obtuvieron de los elongámetros, 3T y 4B, durante los ensayos de carga Nº 6. De ellos se dedujeron las tensiones máximas del hormigón, que se elevaron de 46,40 a 47,80 kg/cm^2. Las tensiones máximas de flexión se mantuvieron en el mismo orden, siempre que la sección del hormigón se mostraba homogénea. No fué posible registrar tensiones mayores, debido al agrietamiento desarrollado en la proximidad o en la zona de los mismos elongámetros.

Ensayos de carga en las grietas de retracción.- Se hicieron cinco ensayos de carga en las dos grietas producidas en la retracción. Los primeros tres ensayos, N°s 8, 9 y 10, se realizaron en la estación 1 + 65 con una placa de 20 cm, un pretensado longitudinal de 21 kg/cm^2 y una carga máxima de 45.360 kg. Durante los ensayos no hubo indicación alguna de cambio a lo largo de la grieta y ésta pareció comportarse como una bisagra. La deformación medida señaló poca diferencia como resultado de la variación de posición de la placa de carga.

El cuarto ensayo, Nº 16, se realizó en la misma posición, con una placa de 20 cm, 17,60 kg/cm^2 de tensión de pretensado longitudinal y una carga máxima de 90.710 kg. Las deformaciones fueron significativas (fig. 14); pero, aun bajo semejantes cargas elevadas, no se observaron cambios a través de las grietas, y la recuperación de la deformación, inmediatamente después de retirar la carga, fué del 86%.

Durante el ensayo de carga Nº 20, se pudo observar un comportamiento de la grieta completamente diferente cuando la carga se aplicó en la estación 1 + 19,875, sin que existiese pretensado en la losa. La interacción de áridos a través de la sección agrietada perdió su efectividad poco después de aplicar el primer incremento de carga. La parte lateral cargada de la losa se comportó más como un borde libre que como parte de

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

una losa continua. Los cambios a través de la losa aumentaban gradualmente al aumentar la carga, apareciendo finalmente una grieta en la parte superior de la losa, en representación de una rotura debida a un momento negativo (fig. 9). Las deformaciones indicaron claramente que la fisuración empezó después de aplicar una carga de 56.700 kg (fig. 15).

Los ensayos demostraron el efecto beneficial del pretensado a través de una sección agrietada. Los elementos pretensados daban una capacidad de tensión que, unida a la compresión del hormigón, constituía un par capaz de resistir momentos. Puesto que semejante sección perdió la mayor parte de rigidez después de haberse fisurado, permitió una deformación considerable sin aumento de momentos, comportándose como una articulación plástica, conduciendo a una redistribución de momentos de una forma más eficiente que la correspondiente a una losa sin armar. La gran habilidad de recuperación de tal sección agrietada y pretensada es notable. Es de lamentar que no se dispusieran de medios para poder investigar la capacidad de carga a la ruptura de semejante sección con armaduras de pretensado.

Ensayos de carga en el borde de la losa.- Se realizaron cuatro ensayos en el borde de la losa, y en cada uno de ellos se aplicó la carga sobre una placa de 20 centímetros.

El primer ensayo se realizó en la estación 1 + 45 (fig. 14), donde no se disponía de pretensado transversal, pero la losa se pretensó longitudinalmente con una tensión aproximada de 21 kg/cm^2. En este ensayo se llegó a la ruina cuando la carga excedió de 34.000 kg. La grieta que apareció en la parte superior de la losa (fig. 9) justificó la teoría de que el pretensado longitudinal aumenta la capacidad de carga de sustentación de una banda estrecha, incluso en los bordes, teoría que se hizo mas patente al no desarrollarse agrietamientos transversales en la parte inferior de la losa bajo la acción de las cargas aplicadas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

Desgraciadamente, el ensayo de carga en el borde (Nº 19), efectuado en la losa, en la estación 3 + 60, cuando no se había aplicado el pretensado, no se mostró conclusivo, porque la fisuración se desarrolló en las secciones adyacentes, como consecuencia de otro ensayo de carga realizado en el centro de la losa y en la misma estación. Puesto que las condiciones en el borde no eran de un gran interés en el programa de ensayos, la repetición de este ensayo, que hubiera llevado consigo la relocalización del aparejo de carga, fué omitida.

Los otros dos ensayos de carga en el borde (N°s 25 y 28) se llevaron a cabo en las zonas A_1 y A_3 respectivamente, aplicando un pretensado longitudinal de 42 kg/cm^2 y otro transversal de 16,8 kg/cm^2. Durante los ensayos Nº 25, sobrevino un fallo por esfuerzo cortante con una carga de 56.700 kg y deformaciones medidas de 4,3 mm. Hasta este estado las deformaciones y cargas han ido aumentando proporciomalmente. Durante el ensayo de carga Nº 28 no se observaron fallos al aplicar la carga máxima disponible de 59.800 kg. La deformación medida bajo el efecto de esta carga fué de 6,3 mm, indicando una tendencia rápida al aumento precursora de proximidad a la fisuración y posible ruina. Desgraciadamente, la carga disponible no era suficiente para llegar a la ruptura y permitir investigar las condiciones límites para las cargas en el borde.

Los tres ensayos señalaron que el pretensado es beneficial para la resistencia de cargas en el borde aplicadas sobre bandas estrechas del pavimento, aun cuando el pretensado sólo se aplique en una sola dirección. El pretensado en dos direcciones aumenta mucho la capacidad de sustentación de cargas en el borde.

Ensayo térmico.- El efecto del calor sobre la losa y el dardo de los reactores se estudió utilizando un aparato Chance Vought Aircraft - F7U-3, tipo a/c, durante diez segundos y en nueve y cinco ciclos consecutivos. Las

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

temperaturas máximas medidas con termopares, colocados 6 mm por debajo de la superficie de la losa, eran muy próximas a los 300°C, es decir, algo mayores a las máximas que dan los fabricantes de los reactores para la estela del escape. Las temperaturas tomadas en las proximidades del fondo de la losa y en el mismo sitio del ensayo no rebasaron los 38°C. El gradiente de la temperatura entre estos dos puntos tenía un descenso rápido, y se cree que, bajo las condiciones del ensayo, la temperatura máxima en el centro de la losa era de unos 52°C.

Los cables del pretensado, según su fabricante, pueden resistir las cargas máximas proyectadas bajo temperaturas de hasta 316°C. Por consiguiente, el resultado de los ensayos es que, con un recubrimiento de hormigón de 12 mm de espesor, se logra una buena protección para los cables del pretensado, suficiente para protegerlos del efecto nocivo del calor en exceso.

- Conclusiones -

Construcción.- La construcción de la losa de ensayo planteó problemas que deben resolverse para que este tipo de construcciones resulte competitivo con los métodos ordinarios actuales. Si ha de emplearse el procedimiento de postesado, los cables se han de suministrar al pie de obra provistos de vainas o tubos adecuados. Los tubos actuales del comercio, preparados con chapa metálica parecen cubrir una solución satisfactoria. No se intentó probar la ventaja del empleo entre cables postesados o pretensados para este tipo de construcciones.

Materiales.- Todos los materiales empleados para el ensayo de la losa dieron un buen resultado. La capa utilizada para reducir los rozamientos era de fácil colocación, económica y se comportó como se había previsto.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

Operaciones de pretensado.- El alargamiento considerable de los cables justificó el empleo de un equipo especial. Se estableció una sucesión apropiada para tesar los elementos partiendo de sus dos extremidades, con objeto de lograr una distribución uniforme en toda la longitud de los cables.

Tesado.- Las pérdidas de postesado durante las operaciones con los gatos se pueden llevar a un mínimo si las vainas de los cables se pueden conservar bastante rectilíneas. Las pérdidas después de pretesar ni deben ser excesivas, ni exceder del 10% para condiciones similares a las del ensayo de la losa.

El pretensado en la losa, rozamiento en la base.- El comportamiento de las fuerzas del pretensado depende, en primer lugar, de la efectividad de la capa reductora de rozamiento. En capas similares a las utilizadas, se puede suponer un coeficiente de rozamiento de 0,5. Las condiciones del rozamiento en la base, bajo la losa, se hallan afectadas por numerosos factores, de los que la tendencia hacia el cambio volumétrico en el hormigón es el más importante.

La repetición del pretensado, tesar y aflojar, parece beneficia para repartir las cargas de pretensado uniformemente a lo largo de toda la longitud de la losa.

Capacidad de carga.- El ensayo puso de relieve que la losa tenía una capacidad de carga de sustentación muy superior a la normal de los proyectos ordinarios. Las deformaciones correspondientes a condiciones límite son tan notables, que las grandes deformaciones en la base, inadmisibles en la práctica corriente, pueden tener lugar sin perjuicio de los elementos estructurales.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

No se pudo llegar a momentos de ruptura en los puntos intermedios, con cargas de hasta 90.700 kg, si la losa estaba pretensada. Esto parece indicar que la losa podía resistir cargas de hasta 158.750 kilos.

La losa mostró un comportamiento superior, bajo el efecto de cargas colocadas en las grietas de retracción y en los bordes.

Los ensayos de carga no fueron concluyentes respecto al efecto de la variación de la cantidad de pretensado y posición de los cables. Se cree que es necesario un mínimo adicional de 7 kg/cm^2 sobre las fuerzas que pudieran ser disipadas por el rozamiento entre la parte inferior de la losa y la base. La posición actual de los cables es satisfactoria desde el punto de vista teórico y práctico.

Ensayos térmicos.- Los resultados de los ensayos de calor indicaron que los cables, tal como se colocaron en la losa, no deberían hallarse sometidos a temperaturas nocivas debidas al dardo del escape de los reactores

Especial mención

El proyecto se redactó bajo los auspicios del Bureau of Yards and Docks (Departamento de la Marina), en el que H.H. Dutton actuó como director del proyecto. L.A. Palmer, consejero del Bureau, inspeccionó todos los problemas técnicos relacionados con el programa y la ejecución del ensayo.

El Comodoro J.S. Marsh, P.W.O. de Patuxent River Naval Air Station actuó como encargado de la construcción. Ayer-Hagan-Booth fueron los constructores de la losa de ensayo. El ensayo del hormigón se hizo por Froehling & Robertson Laboratories. Richmond de Virginia. Raymond E. Davis y David Pirtz, Universidad de California y Berkeley, actuaron como consejeros especiales durante la redacción del programa y la instalación de instrumentos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

El malogrado G.M.Hilpert, en dicho momento asociado con Frederic R. Harris Inc., inició este proyecto y merece gran parte de cuanto se ha hecho. El proyecto de la losa de ensayo y el programa completo se ultimó por Frederic R. Harris, Inc., ingenieros asesores, para los que el autor de este artículo actuó como ingeniero proyectista, ayudado por S.Sedlmaie

La discusión del texto de este trabajo se publicará en la segunda parte del Journal de diciembre de 1957. En el volumen 53 de Proceedings, la discusión sigue a las páginas del Journal de junio de 1957.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

591-1-4.—GRANDES VIGAS PRETENSADAS Y PREFABRICADAS

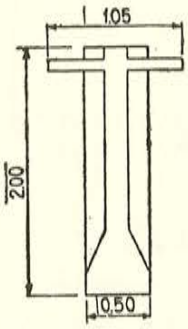


Fig. 1.

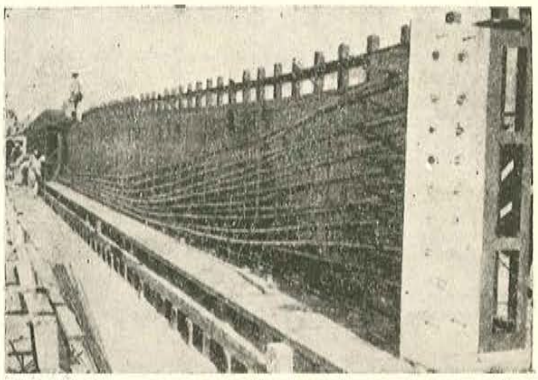


Fig. 2.

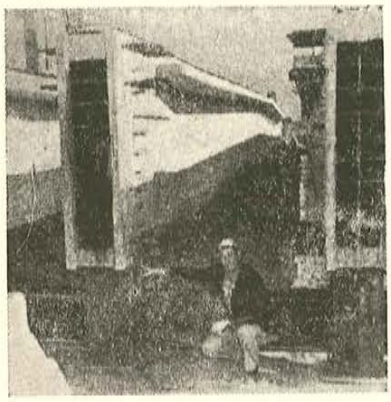


Fig. 3.

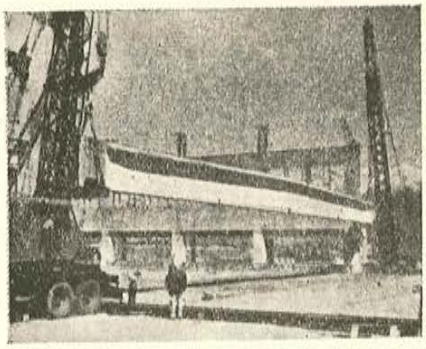


Fig. 4.

Fig. 1.—Sección de la viga.
Fig. 2.—Las armaduras ya en posición.
Fig. 3.—Las vigas en el depósito.
Fig. 4.—Un momento de la maniobra de elevación de una viga.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

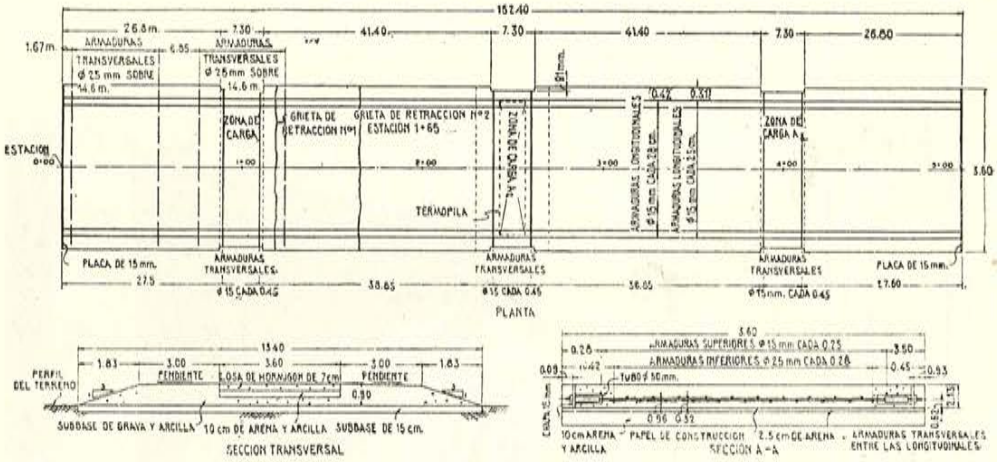


Fig. 1.

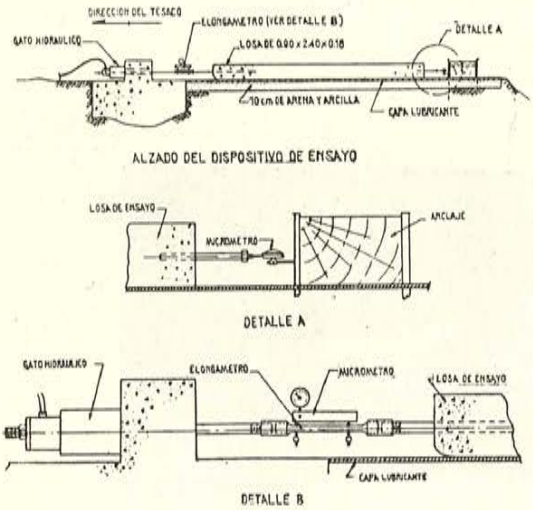


Fig. 2.

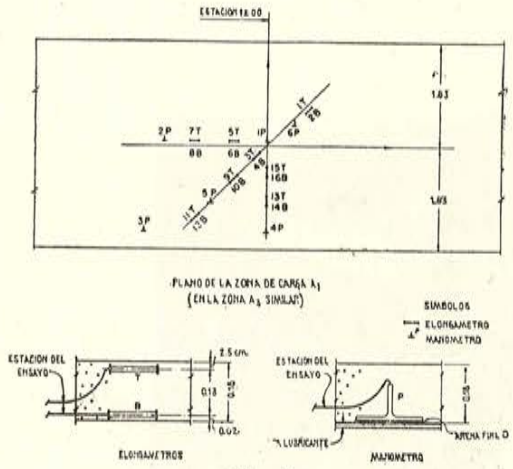


Fig. 3.

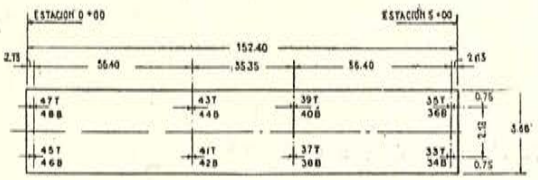


Fig. 4.

Fig. 1.—Plan general experimental de una losa de hormigón para pavimentación.
Fig. 2.—Ensayos sobre rozamiento.
Fig. 3.—Planta y detalles del ensayo en la zona A.
Fig. 4.—Posición de los elongámetros.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

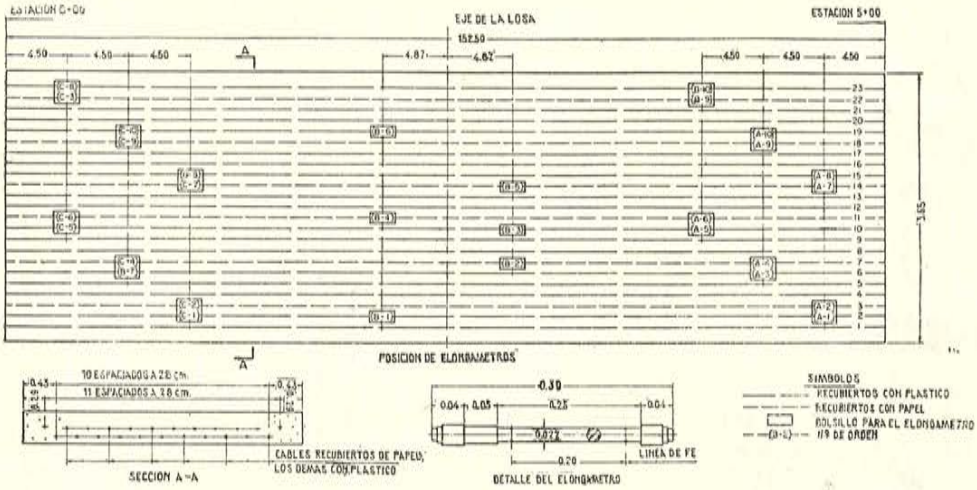


Fig. 5.

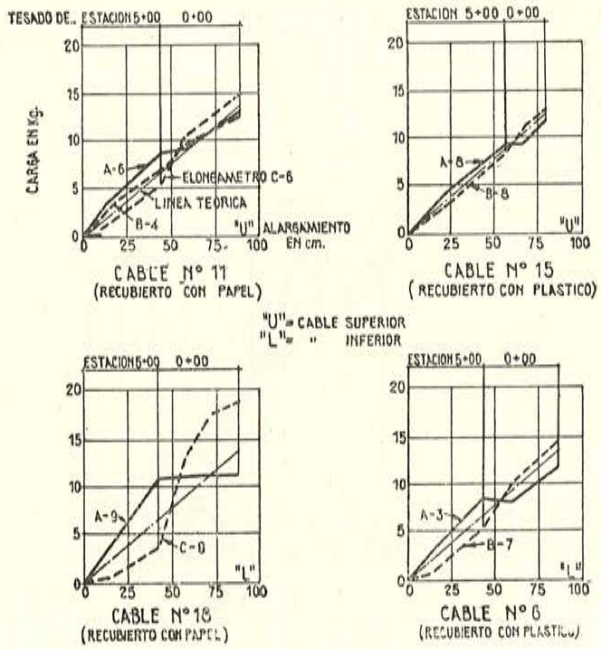


Fig. 7.

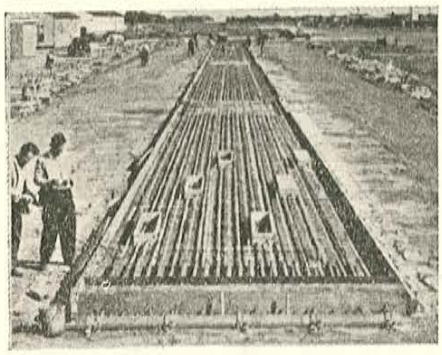


Fig. 6.

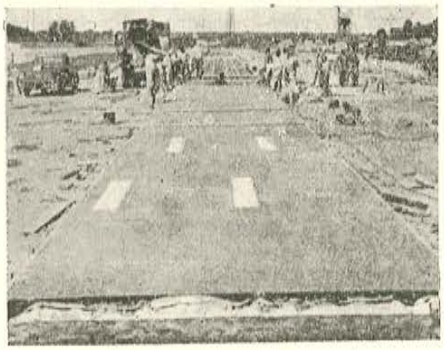


Fig. 8.

Fig. 5.—Posición de los elongámetros y detalles.
Fig. 6.—Tesando antes de hormigonar.
Fig. 7.—Diagramas de tensiones y alargamiento de tesado.
Fig. 8.—Hormigonando la losa experimental.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

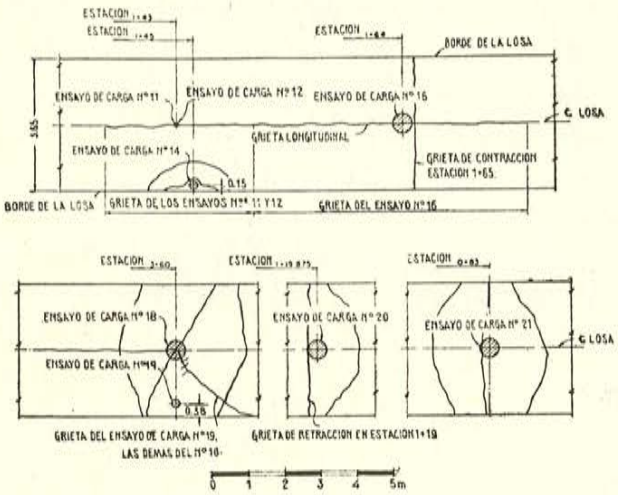


Fig. 9.

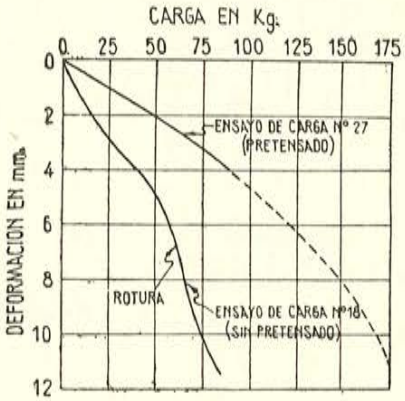


Fig. 10.

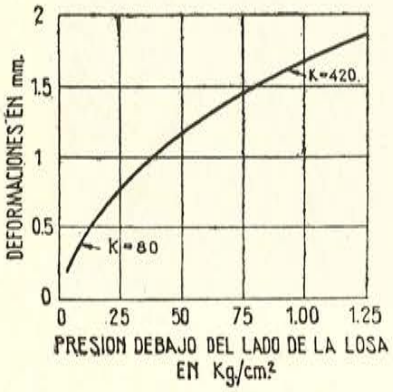


Fig. 11.

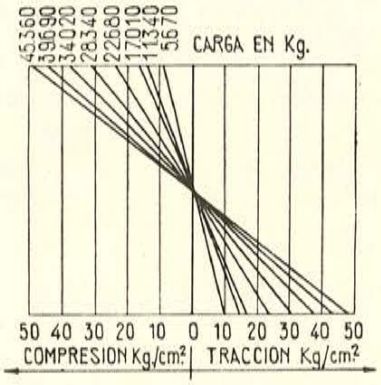


Fig. 13.

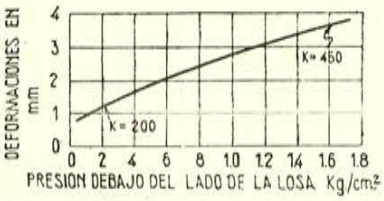


Fig. 12.

Fig. 9.—Grietas en los ensayos de carga.
Fig. 10.—Diagrama de carga y deformación con y sin pretensado.
Fig. 11.—Variación de K en el ensayo de carga núm. 5.
Fig. 12.—Variación de K en el ensayo de carga núm. 27.
Fig. 13.—Tensiones en el hormigón. Ensayo núm 6.

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

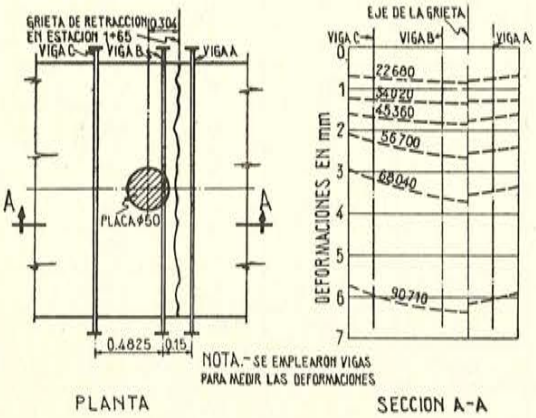


Fig. 14.—Ensayo de carga núm. 16 con pretensado longitudinal de 17,57 kg/cm² y sin transversal.

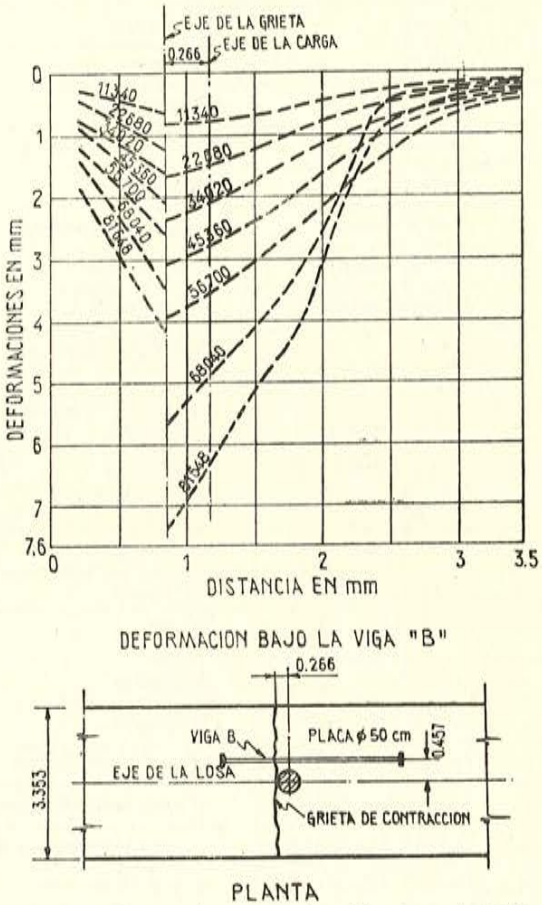


Fig. 15.—Ensayo de carga núm. 20, sin pretensado

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

CUADRO III - RECOPILACION DE LOS ENSAYOS DE CARGA

	Número del ensayo	Fecha	Posición	Carga aplicada con incrementos de 453,6 Kg	Placa Ø en cm	Pretensado en 453,6 Kg por unidad		Deformaciones máximas en mm	K máximo en 453,6 kg/2,5 cm
						Cables longitudinales	Cables transversales		
Carga aplicada en el interior de la losa	1	10-10-53	A_3	10-20-30-40-50	50,8	550	200	0,914	-
	3	12-17-53	A_3	20-35-50-75-100	50,8	250	200	1,600	-
	4	12-18-53	A_3	10-20-30-40-50	20,32	250	200	0,812	270
	5	4-27-54	A_3	25-50-75-100	20,32	250	200	1,600	420
	2	11-17-53	A_1	10-20-30-40-50	50,8	550	200	0,762	-
	6	4-28-54	A_3	12^5-25-37^5-50-62^5-75-87^5-100	50,8	250	200	1,397	-
	7	4-28-54	A_1	25-50-75-100	20,32	250	200	1,346	420
	11	4-29-54	Estación 7 + 43	10-20-30-40-50-60-70-80-90-100	7,62	300	0	2,235	-
	12	4-29-54	Estacion 1 + 43	50-60-70-80-90-100	5,08	300	0	1,930	-
	13	4-30-54	Estación 1 + 43	10-20-30-40-50-60	5,08	300	0	1,143	-
	15	12-8-54	A_1	50-100-125-150-182-200	50,8	250	240	3,988	280
	17	12-10-54	A_3	50-75-100-125-150 175-189	20,32	250	240	~ 3.810	400
	18	2-1-55	Estación 3 + 60	50-100-150-185	50,8	0	0	~ 11.658	-
	21	2-3-55	Estación 0 + 83	100-125-150-175	50,8	0	0	7,183	-
	22	3-29-55	A_1	200 (8 veces)	50,8	280	240	5.080	250
	23	3-30-55	Estación 3 + 94	200 (12 veces)	50,8	280	240	7.290	-
	24	4-19-55	Estación 3 + 94	200 (18 veces)	50,8	600	240	5,943	-
	26	4-20-55	A_1	200 (10 veces)	50,8	600	240	3.988	-
	29	4-20-55	A_1	50-100-150-200	20,32	600	240	4.496	-
	27	4-20-55	A_1	50-100-150-200	50,8	600	240	3,912	450
En las grietas de retracción	8	4-28-54	Estación 1 + 65	12^5-25-37^5-50-62^5-75 -87^5-100	20,32	300	0	2,616	-
	9	4-29-54	Estación 1 + 65	12,5-25-37,5-50-62,5-75-87,5-100	20,32	300	0	2,184	-
	10	4-29-54	Estación 1 + 65	12,5-25-37,5-50-62,5-75-87,5-100	20,32	300	0	2,311	-
	16	12-9-54	Estación 1 + 65	50-75-100-125-150-175-200	50,8	250	0	7.315	-
	20	2-2-55	Estación 1 + 19,875	25-50-75-100-125-150-180	50,8	0	0	6.655	-
En el borde	14	4-30-54	Estación 1 + 45	20-40-60-80-95	20,32	300	0	~ 6.350	-
	19	2-1-55	Estación 3 + 60	25-37,5-50-100	20,32	0	0	4.877	-
	25	4-19-55	Estación 3 + 94	50-75-100-125-130	20,32	600	240	~ 4.496	-
	28	4-20-55	Estación 1 + 00	50-100-132	20,32	600	240	6.324	-

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025

Documento descargado de www.e-ache.com el 09/05/2025