asociación española del hormigón pretensado

i.e.t.c.c.

instituto eduardo torroja
de la construcción y del cemento



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
BIBLIOTECA
INSTITUTO EDUARDO TORROJA

últimas noticias técnicas en estructuras de hormigón pretensado

boletín n. 69

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

portada: detalle de almacén de Sahe, viguetas pretensadas de 12 cm de canto

nota importante

Ponemos en su conocimiento que con este número vence la suscripción.

De no haber recibido aviso, estimaremos acepta la prórroga por igual período de tiempo.

El número 70 se enviará contra reembolso del importe total de la suscripción.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

a

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
BIBLIOTECA
INSTITUTO
EDUARDO TORROJA

últimas noticias técnicas en estructuras de hormigón pretensado

boletín de circulación limitada núm. 69

octubre - noviembre - diciembre 1963

i.e.t.c.c.
instituto eduardo torroja
DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO
PATRONATO «JUAN DE LA CIERVA» DE INVESTIGACION TECNICA DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Depósito legal: M. 853-1958

procedimientos

Barredo

de hormigón pretensado

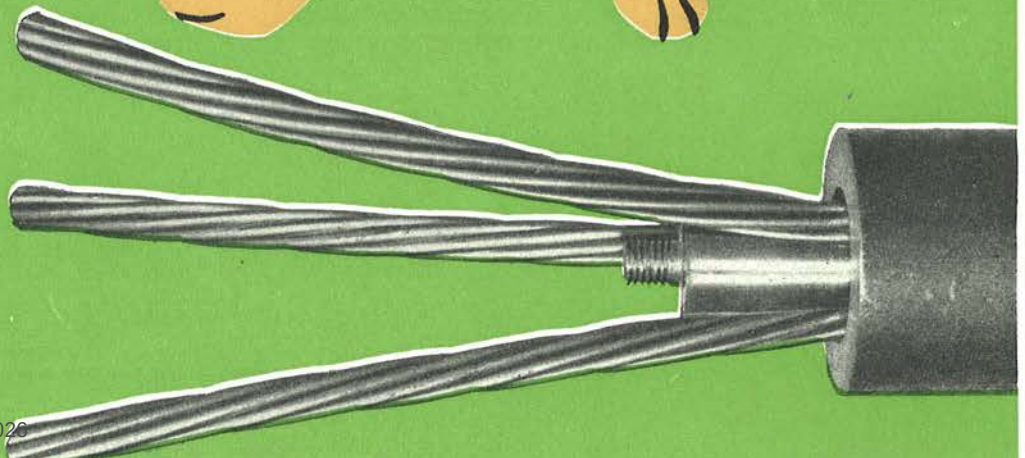




antes el gato...



...ahora el tigre



Raimundo Fdez. Villaverde, 45
Teléfono 233 03 00
MADRID

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2025

asociación española del hormigón pretensado

CUOTA ANUAL	ESPAÑA Pesetas	EXTRANJERO Dólares
Socio adherido individual	150,00	3,00
Socio no adherido individual	300,00	6,00
Socios colectivos (aunque figuren como socios adheridos)	800,00	16,00

índice

		Págs.
	Editorial.	
	Nota de la Asociación Española del Hormigón Pretensado	4
591-5-8	Consideraciones generales sobre el estado actual y porvenir de la técnica de pavimentos de hormigón pretensado	5
	M. R. Peltier, Director del Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (París).	
591-5-7	Pavimento de hormigón pretensado para carreteras	13
	J. Courbon, Ing. Jefe de Puentes y Caminos.	
457-3-8	Nuevos intentos sobre cálculo del pretensado en obras hiperestáticas	37
	P. Courtot, Ingeniero.	

Artes Gráficas MAG, S. L. Burgos, 12 - Madrid

editorial

Con este número se cierra el año 1963. Después de luchar para lograr que nuestro boletín salga en su fecha, vemos que casi se ha conseguido eliminar el retraso de un año que, por causas inevitables, se arrastraba desde los últimos meses de 1962. Esperemos que en este nuevo año la situación quede completamente normalizada y el boletín salga en su fecha. Esto respecto a su periodicidad. Referente a los artículos que se publican, queremos recordar que, aparte de facilitar a nuestros asociados la lectura de trabajos extranjeros, nuestro boletín tiene que ir aumentando en el número de artículos originales, para lo cual pedimos la colaboración a todos nuestros asociados.

En este número se publican dos interesantes artículos sobre el tema de pavimentos de hormigón pretensado, presentados en el simposio que sobre dicho tema se celebró en Buenos Aires. Estos dos artículos, junto con el publicado en el número anterior, constituyen un reflejo exacto del estado actual de dicha técnica.

Se completa el número con un artículo de tipo práctico sobre el trazado de cables en vigas estáticamente indeterminadas.

Finalmente, se inserta la nota bibliográfica, no muy extensa en este número, debido a la escasez de revistas recibidas en este trimestre.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

nota de la asociación española del hormigón pretensado

intercambio de publicaciones

Dentro del programa de intercambio de publicaciones organizado por la F.I.P. entre las diversas Asociaciones Nacionales que la integran, hemos recibido, últimamente, las que a continuación se mencionan, en las cuales aparecen, entre otros, los trabajos que en la presente nota se detallan, relacionados con la técnica del hormigón pretensado.

Para mayor comodidad de nuestros lectores, los títulos de todos los artículos se dan traducidos al español.

Publicaciones enviadas por la «ENCI-CEMIJ N.V.», de Amsterdam:

Se han recibido varios números de la revista «Cement», en los cuales aparecen, entre otros, los siguientes artículos:

Número 9, septiembre 1963:

1. «Un nuevo avance en la construcción de puentes».
2. «Sistemas de pretensado: el sistema Dywidag» (II), por U. Finsterwalder y G. Kern.
3. «Láminas delgadas prefabricadas, en diente de sierra, para la construcción de la cubierta de un almacén en Wangen (Suiza)», por H. Hansdorf.

Número 10, octubre 1963:

4. «El metro de Rotterdam» (IV), por A. J. Chr. Dekker.
5. «Experiencias y aplicación de vigas preflex», por A. S. G. Bruggeling.
6. «Edificio central del Aeropuerto Dulles, en Wáshington».

Publicaciones enviadas por la «Japan Prestressed Concrete Engineering Association»

Se han recibido varios números de la revista de dicha asociación, en los cuales aparecen los siguientes artículos (todos ellos en japonés).

Número 8, agosto 1963:

7. «Proyecto y construcción del puente Hohtoku».
8. «Ensayo y construcción del puente de Shakagaike», por T. Kaneda y otros.
9. «Pilotes de hormigón pretensado usados como pilares para ferrocarril elevado», por Y. Teramoto, H. Ohno y K. Yahagi.

Publicaciones enviadas por el «Prestressed Concrete Institute», de Estados Unidos

Revista: «P. C. I. Journal», agosto 1963:

10. «Estudios sobre la longitud de anclaje en hormigón pretensado usando la Fotoelasticidad», por D. A. Linger y S. R. Bhonsle.
11. «Programa en Fortran para el cálculo en computadores electrónicos del hormigón pretensado», por A. D. St. John.
12. «Estructuras continuas de hormigón pretensado», por R. L. Koons y G. J. Schlegel.
13. «Enlace entre vigas prefabricadas y los soportes», por W. R. Elliston.

Revista: «P. C. I. Journal», octubre 1963:

14. «Distribución de cargas en piezas prefabricadas de hormigón pretensado sin vigas de arriostramiento», por N. D. Nathan.
15. «Influencia de la resistencia del hormigón en la longitud de anclaje por adherencia», presentado en el IX Congreso del P. C. I.
16. «Aplicación de la teoría membrana al proyecto de placas pretensadas», por Kolbjorn Saether.

Publicaciones enviadas por la «Cement and Concrete Association», de Inglaterra

Revista: «Concrete Quarterly», núm. 58, septiembre 1963:

17. «El nuevo local para la New Zealand House».
18. «Los puentes sobre la autopista Kentish».
19. «Una visita a Israel y Grecia», por Nicolette Franck.
20. «La presa del Grande Dixence».

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

consideraciones generales sobre el estado actual y porvenir de la técnica de pavimentos de hormigón pretensado

M. R. PELTIER
Director del Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (París)

(Conferencia pronunciada en el «Simposio sobre Pavimentos de Hormigón», celebrado en Buenos Aires en 1960.)

La presente comunicación tiene por fin informar sobre los conocimientos actuales de la técnica del pavimento de hormigón pretensado.
Si bien no entra en detalles, trata de aclarar cuáles son las tendencias generales en la evolución de esta técnica.
Después de una exposición general sobre el problema, de las carreteras de hormigón pretensado, especialmente en comparación con las pistas para aeropuertos, la comunicación trata sucesivamente:
Clasificación de las diferentes soluciones de pavimento de hormigón pretensado para caminos.
Ultimos resultados de los ensayos de deslizamiento de losas de hormigón pretensado sobre su base (especialmente los importantes ensayos de Fontenay-Trésigny).
Resultados experimentales obtenidos en diversos ensayos respecto a la determinación de las tensiones originadas por las variaciones higrotérmicas en el hormigón pretensado.
La comunicación termina por la exposición de algunas conclusiones que resumen los conocimientos respecto al valor de las distintas soluciones ensayadas hasta la fecha.

Introducción

Numerosos estudios técnicos sobre los caminos experimentales pavimentados en hormigón pretensado han sido publicados en las Revistas Técnicas o presentados en los diversos Congresos. Agrego a la presente comunicación separatas de dos de mis estudios:

— Conferencia sobre las «Carreteras de hormigón pretensado y perspectivas para el porvenir», pronunciada el 3 de febrero de 1959 bajo la presidencia del Director de Carreteras y publicada (número 60-1) por el Institut Téchnique du Bâtiment et des Travaux Publics.

— Artículo sobre los «Ensayos de la carretera de hormigón pretensado, Fontenay-Trésigny», publicado en la Revue Générale des Routes, en junio de 1960.

En estos dos estudios y demás publicaciones se encontrarán informaciones precisas sobre esta nueva técnica y los ensayos efectuados.

Mi objeto en la presente comunicación no es entrar en los detalles técnicos.

Considero, de acuerdo con las tradiciones del pensamiento latino que, de tiempo en tiempo, es conveniente elevarse por encima de los detalles y tratar de establecer un cuadro de conjunto de la situación.

Se pretende así discernir claramente las líneas generales del tema y su evolución, y despejar, en cierto modo, la «filosofía» del problema.

Esto es lo que he tratado de realizar, limitándome a considerar los siguientes puntos:

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

1. Situación general del problema en las calzadas de hormigón pretensado.

2. Clasificación y características comparativas de las diferentes soluciones.

3. El problema del deslizamiento de las losas sobre su base.

4. Tensiones de origen térmico en las losas del sistema fijo.

5. Conclusiones relativas a las calzadas de hormigón pretensado.

1. Situación general del problema en las calzadas de hormigón pretensado

La técnica general del hormigón pretensado desarrollada en Francia, por M. Freyssinet, experimenta en el mundo entero un desarrollo extraordinario en la construcción de «obras de arte», edificios y aún en ciertas construcciones especiales, como las pilas atómicas. Desde el fin de la última guerra, el Ing. Freyssinet aplicó esta técnica a la construcción de pistas de aeropuertos en hormigón pretensado.

La pista experimental de Orly, construida en 1947, con un resultado satisfactorio, significó el comienzo de las realizaciones de gran envergadura.

Hoy, podemos decir que la construcción de pistas en hormigón pretensado es trabajo corriente en Europa; y hay ya construidas dos grandes pistas en Alger-Maison Blanche, una pista de carreteo en Orly, una gran pista en Bruselas, una gran pista en Colonia...

El rápido crecimiento de los pesos en los aviones modernos y del tráfico aéreo, así como la evolución económica (disminución del precio de los aceros de alta resistencia...), apresuraron, sin duda, esta evolución de la técnica en pistas de aeropuertos hacia el hormigón pretensado.

En lo que concierne a los caminos, la técnica del hormigón pretensado está menos avanzada, todavía, en el estado experimental; pero los tramos experimentales se han multiplicado en todos los países de Europa Occidental. Experiencias de gran envergadura acaban de realizarse en Bélgica y en Francia (Fontenay-Trésigny).

El camino en hormigón pretensado plantea al ingeniero algunos problemas.

Los principales son los siguientes:

a) Mientras que las pistas de aeropuertos son rectilíneas y puede decirse horizontales, las carreteras tienen curvas en su trazado y en el perfil longitudinal.

Interesaba notablemente conocer el comportamiento del hormigón pretensado en las curvas, puesto que el pretensado puede desarrollar un elevado esfuerzo centrífugo.

b) En las pistas para aeropuertos, aun las de mayor tráfico, la repetición de las cargas es reducida si se compara con una carretera de importancia.

Todos los Ingenieros de Caminos conocen la considerable influencia de la repetición de las cargas y la fatiga en el comportamiento de las calzadas flexibles y rígidas y sobre las bases de dichas calzadas. También era necesario realizar experiencias con calzadas de hormigón pretensado en carreteras de tránsito pesado (Fontenay-Trésigny está situado en la importante carretera número 4 de París a Strasbourg).

c) Puesto que los camiones son más ligeros que los grandes aviones modernos y para reducir al mínimo los gastos de construcción, el espesor de las calzadas es inferior al de las pistas para aeropuertos. Esta reducción del espesor entraña un cierto número de problemas: riesgo de pandeo, trabajo más intenso del suelo de base, vibraciones en las losas... y, sobre todo, dificultades de la construcción de losas muy delgadas.

d) En fin, no hay que olvidar, sobre todo en lo concerniente a caminos, que los problemas económicos dominan los problemas técnicos, y que no se trata solamente de proyectar tipos de calzadas en hormigón pretensado técnicamente perfectas, sino que es necesario que estos nuevos tipos de pavimentos sean competitivos también en el precio, frente a los tipos denominados clásicos: pavimentos flexibles con revestimientos bituminosos, pavimentos en hormigón simple.

El análisis de los resultados obtenidos, en los tramos experimentales, como el de Fontenay-Trésigny, que contienen gran número de aparatos para mediciones, a tal punto que se trata de un camino-laboratorio, permitirá, sin duda, resolver todos los problemas técnicos que plantean los pavimentos en hormigón pretensado. Se han logrado ya numerosos datos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Las informaciones concernientes al aspecto económico no pueden lograrse, nada más que en parte, de estos trabajos experimentales. Sin embargo, un estudio económico realizado en colaboración con las empresas que construyeron Fontenay-Trésigny determina que se puede calcular una economía del 15 al 25 por 100 en el precio del pavimento de hormigón pretensado con respecto al pavimento en hormigón del tipo clásico. Pero estos valores deben ser verificados en obras de gran rendimiento. Los estudios experimentales han permitido conocer mejor los fenómenos que se producen en los pavimentos de hormigón pretensado y fijar con precisión el valor de los parámetros que intervienen en los cálculos. Aún queda determinar entre las diferentes soluciones, aquellas que se adaptan mejor a las realizaciones industriales. Esta elección debe efectuarse en las grandes obras y con una colaboración muy estrecha entre los Ingenieros de Investigación y los Ingenieros Constructores del Estado y de las Empresas.

En mi opinión personal, estamos ya en esa condición o muy próximos, puesto que los Ingenieros de la Administración Pública Francesa pueden establecer las especificaciones técnicas para los pavimentos en hormigón pretensado y los Ingenieros de las Empresas pueden ejecutar, con estas bases técnicas, pavimentos de hormigón pretensado competitivos con los pavimentos denominados clásicos.

Necesitamos conocer, además, los gastos de conservación de los pavimentos en hormigón pretensado. A falta de información, pues los tramos experimentales son muy recientes para suministrar información, nos basamos en las pistas para aeropuertos donde la conservación era casi nula. Se puede entonces esperar que en los futuros pavimentos en hormigón pretensado los gastos de conservación serán muy reducidos.

2. Clasificación y características comparativas de las diferentes soluciones

2.1. Las posibles soluciones para el pavimento en hormigón pretensado pueden clasificarse en dos grandes sistemas: *Sistema fijo* y *Sistema móvil.*

Este último sistema se divide a su vez en dos:

Sistema móvil con pretensado interno.

Sistema móvil con pretensado externo.

Por sistema fijo se entiende toda solución en que las losas de hormigón permanecen fijas en relación al suelo de fundación durante toda la vida del pavimento, salvo el corto período de pretensado o eventualmente las posteriores acciones para «recuperar» el pretensado. Como el desplazamiento de las losas es nulo, las tensiones deben variar con las variaciones climáticas; la diferencia de tensiones pueden ser muy importantes (de 20 a 150 kg/cm²).

En los sistemas móviles, las losas de hormigón deslizan sobre su base según las variaciones higrotérmicas.

En el sistema móvil con pretensado interno existe un pretensado casi constante en el tiempo en todos los puntos de la losa, creado mediante alambres o cables de acero de alta resistencia incorporados en la losa con una técnica análoga a la de los puentes y obras de arte de hormigón pretensado.

En el sistema móvil con pretensado externo, el pretensado longitudinal está originado por resortes insertados en las juntas entre las losas sucesivas. El pretensado no es, por lo tanto, constante, sino que varía según la ley del resorte (curva de esfuerzo en función del hundimiento). La palabra resorte debe comprenderse en el sentido general de dispositivo elástico. En efecto, pueden ejecutarse los «resortes» con verdaderos resortes de acero, como los resortes helicoidales, o con cámaras de aire comprimido, o aún con gatos que funcionen automáticamente.

El pretensado real en el sistema móvil varía, de un punto a otro de las losas, por efecto del rozamiento de contacto de las losas con el suelo.

Este complejo fenómeno tiene la mayor importancia en el comportamiento de las losas (ver apartado 3).

2.2. La clasificación realizada anteriormente ha sido basada sólo en el pretensado longitudinal.

En cuanto al pretensado transversal existen hasta ahora dos soluciones:

— La primera consiste en realizar el pretensado transversal mediante alambres de acero tesados entre los bordes laterales de las losas.

— La segunda solución es no dar pretensado transversal. Esta solución tiene su justificación, puesto que, según la teoría, en un suelo homogéneo y estable los momentos de flexión transversales, originados en las losas por las car-

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

gas rodantes, son menores que los momentos de flexión longitudinales. Es necesario, entonces, calcular el espesor del hormigón para que pueda resistir, con su propia resistencia a la flexión, los momentos de flexión transversales. El cálculo determina que el espesor mínimo para las carreteras es 15 cm; efectivamente, las losas realizadas con este espesor y sin pretensado transversal en Fontenay-Trésigny parecen resistir muy bien al tráfico sin ninguna fisura.

Cuando las losas están pretensadas transversalmente, el espesor puede ser disminuido. En Fontenay-Trésigny se ha llegado, para esta solución, a 12 cm de espesor, y en Bélgica, en cortos tramos de ensayo, se han construido losas para pavimentos de 10 cm y aun de 8 cm. La reducción del espesor entraña algunos problemas.

Aumenta el riesgo del pandeo no solamente por la disminución de la rigidez, sino también por el aumento relativo de las irregularidades superficiales.

Incrementa la tensión del suelo de la base (en razón inversa del cuadrado del espesor).

Exige un aumento del pretensado transversal, y, asimismo, aumenta el peso del acero empleado referido al metro cuadrado de pavimento.

Aumenta las dificultades constructivas y, por otra parte, el precio del metro cuadrado de pavimento no disminuye proporcionalmente con el espesor.

En carreteras importantes y en las condiciones económicas y técnicas actuales, el espesor de 12 cm es el más conveniente; en carreteras secundarias y con una buena base puede disminuirse el espesor a 10 centímetros.

2.3. *En el sistema fijo* se realiza el pretensado longitudinal mediante gatos situados en juntas espaciadas regularmente, cada 100 m a 200 m, denominadas «juntas activas». En los extremos de la calzada deben disponerse «estribos» que impidan el desplazamiento de las losas, y si el tramo es muy largo deben colocarse «estribos intermedios» como seguridad para evitar la pérdida de pretensado total en el caso de rotura local en la calzada. En realidad, puede decirse que los «estribos intermedios» son inútiles, puesto que el rozamiento es suficiente para detener la pérdida de pretensado producida por una ruptura local. En las curvas, el sistema fijo exige la construcción de estribos laterales, que absorban la componente centrífuga del pretensado longitudinal. Este sería un inconveniente del sistema fijo, pero se pueden realizar estribos laterales bastante económicos.

En el sistema móvil con pretensado externo también es necesario la construcción de estribos, pero estos estribos son menos importantes que los del sistema fijo, puesto que las tensiones son menores, por ejemplo, 40 kg/cm² en el sistema móvil y 125 kg/cm² en el sistema fijo.

Se pueden concebir diferentes tipos de estribos:

Estribos de gravedad, que resisten al empuje por su propio peso y el rozamiento con el suelo; este último puede ser mejorado con superficies dentadas.

Estribos de compresión llamados funiculares, constituidos por una losa delgada con perfil curvo que penetra en el suelo siguiendo la curva funicular de las fuerzas hasta una profundidad tal que el terreno pueda soportar el empuje que le es transmitido.

Estribos de tracción, formados por una losa delgada en hormigón armado o pretensado, con perfil de suave curvatura. Estas losas trabajan a la tracción y resisten por el rozamiento con el suelo; este rozamiento puede ser incrementado por la curvatura (efecto de cabrestante).

Estos tres tipos de estribos han sido ensayados en Fontenay-Trésigny con pleno éxito desde el punto de vista técnico, a pesar del suelo mediocre de fundación (limo-arcilloso).

En cuanto al aspecto económico, los estribos del segundo tipo han sido los de menor precio por tonelada de empuje absorbido.

Nuevos tipos de estribos pueden todavía ser inventados por los Ingenieros.

3. *El problema del deslizamiento de las losas sobre la base*

El conocimiento de las leyes que rigen el deslizamiento de los pavimentos de hormigón pretensado sobre la base tiene una gran importancia.

En los primeros estudios sobre este tema se admitió que el deslizamiento se producía según la simple ley de Coulomb: $T = N \cdot f$
donde:

T = esfuerzo tangencial en las losas;
N = esfuerzo normal (peso de las losas);
f = coeficiente de rozamiento.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

La experiencia ha demostrado que, en realidad, el fenómeno es más complejo.

Aun cuando puedan existir diferentes tipos de fundación, parece que por razones económicas y técnicas las bases más empleadas serán las de arena. Este es el tipo de base utilizado en Fontenay-Trésigny, donde las losas reposan sobre una capa de 60 cm de espesor de arena fina eólica, silícea. Las losas fueron hormigonadas sobre la arena con interposición de papel Kraft, y en algunas (longitud 70 m, ancho 7,50, espesor 0,15 m) se realizaron ensayos de deslizamiento, en un sentido y en el otro, mediante gatos colocados en las juntas de extremo de las losas.

El deslizamiento no se efectúa en la superficie de contacto de la losa con la arena debido a las pequeñas irregularidades de la losa, sino en la arena misma. El ensayo fue, en realidad, un ensayo de cizallamiento del suelo en gran escala.

Se han determinado las curvas: esfuerzos-deformaciones, observando que, después de algunos ciclos de deslizamiento, en un sentido y en el otro, las curvas se estabilizaban. Realmente, se ha determinado una ley total, por integración en toda la superficie de la losa de la ley elemental por unidad de superficie, ya que sobre 70 m de longitud la compresibilidad del hormigón no es despreciable, si bien la deformación no es la misma en todos los puntos de la losa.

El cálculo ha permitido, considerando la elasticidad del hormigón, calcular la ley elemental teórica en función de la ley total observada. Los resultados obtenidos se dan en gráficos, donde las deformaciones están en abscisas y el valor de $f = \frac{T}{N}$ en ordenadas.

Se observa que la ley simple de Coulomb:

f = constante, es errónea, salvo para grandes desplazamientos.

En realidad, hay dos curvas, según que se opere a velocidad elevada o a velocidad lenta, debido a la fluencia del suelo. También se pueden distinguir tres partes en las curvas o, en otros términos, tres fases en el deslizamiento de las losas sobre el suelo:

—En la primera fase hay una unión rígida entre la losa y el suelo sin deformación apreciable hasta que f no alcance el valor 0,45.

—En la segunda fase, cuando f es superior a 0,45 hasta alcanzar el valor 1,10, f crece con el desplazamiento v.

—En fin, en la tercera fase, el valor del frotamiento es constante e igual a 1,10 cualquiera que sea el desplazamiento.

Podemos representar el fenómeno *imaginativamente*, diciendo que, en la primera fase, el suelo se comporta con un *sólido rígido;* en la segunda se producen fisuras verticales en el suelo, quedando, entonces, formado por un gran número de *láminas rígidas verticales.*

La flexión de estas láminas bajo la acción del esfuerzo tangencial, T, provoca el desplazamiento, v, y el aumento, f. Por último, habiéndose alcanzado el valor límite del rozamiento, la losa desliza sobre los extremos de las láminas y, entonces, el valor del rozamiento es constante e igual a 1,10 cualquiera sea el desplazamiento v.

Este límite de deslizamiento corresponde a un ángulo de rozamiento interno de 23° y cohesión 25 g/cm². Estas características han sido observadas en el aparato de Casagrande, colocando la arena en condiciones rigurosamente iguales a las correspondientes a la obra (compactación y humedad). La verificación entre los ensayos en el pavimento y el laboratorio es tanto más notable si se considera que se produce en partes muy diferentes a la curva intrínseca. En efecto, en laboratorio la sección de la probeta era 100 cm² y la carga N algunos kg/cm², mientras que en el pavimento la superficie es 5.250.000 cm² y la carga $N = 36$ g/cm². Se nota la influencia considerable de la cohesión; mientras que en las obras comunes, en que interviene la técnica de los suelos, la cohesión es un término correctivo.

Los ensayos nombrados son válidos solamente para la arena utilizada, pero experimentando con otras arenas se obtienen resultados análogos sin modificación importante entre los límites de las tres fases.

Las mediciones se realizaron, después de varios ciclos de desplazamientos, en un sentido y en el otro. Para el primer deslizamiento se observa generalmente que la curva f en función de v pasa por un máximo, como en los ensayos de laboratorio. El máximo de f es, entonces, 1,30 a 1,40.

Una observación importante para el buen comportamiento del pavimento en hormigón pretensado en las curvas, consiste en que las curvas no se desplazan hacia el exterior por efecto de la pretensión, p, y del radio de curvatura, R, si la componente centrífuga del empuje es inferior al valor límite de la primera fase del deslizamiento, o sea, $f = 0{,}45$ en el caso de Fontenay-Trésigny.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Un sencillo cálculo muestra entonces que si la calzada está constituida por una losa de espesor uniforme, la condición de estabilidad en las curvas es:

$$R > 9{,}25p$$

donde:

p = pretensado máximo, expresado en kg/cm²;
R = radio de curvatura mínimo, en metros.

Así, en el sistema fijo: $p = 125$ kg/cm² y, por lo tanto, $R > 1.150$ m; en el sistema móvil con pretensado externo: $p = 40$ kg/cm², resulta $R >$ 370 metros.

Para realizar curvas de menor radio será necesario disponer estribos laterales en las curvas.

4. Tensiones de origen térmico en las losas del sistema fijo

Un problema de importancia que los ensayos nombrados han permitido aclarar, o al menos comenzar a dilucidar, es el concerniente al valor de las tensiones creadas en el hormigón por las variaciones de temperatura.

Si:

E = Módulo de elasticidad del hormigón;
a = Coeficiente de dilatación térmica;
dT = Variación de la temperatura media de la losa.

El cálculo demuestra que las variaciones en el pretensado medio son:

$$dN = E \cdot a \cdot dT$$

Para efectuar este cálculo se supone que por la variación de temperatura el hormigón aumenta la longitud en $dl = l \cdot a \cdot dT$, y que la tensión dN que es necesario ejercer para impedir este alargamiento es, en la hipótesis elástica:

$$\frac{dl}{l} = \frac{dN}{E}$$

Entonces aparece como un parámetro el producto: $E \cdot a$.

Los ensayos en los pavimentos de hormigón pretensado existentes han consistido en verificar la proporcionalidad entre dN y dT. Para ello se ha medido, permanentemente en ciertas calzadas, la temperatura media de las losas (por medio de sondas térmicas) y el pretensado medio.

Es así que en la pista de Alger-Maison Blanche se verifica la condición de proporcionalidad entre dN y dT, siempre que para el coeficiente $E \cdot a$ se adopten valores diferentes según la velocidad de la variación de la temperatura.

Para las variaciones diarias de temperatura:

En invierno: $E \cdot a = 2{,}35$
En verano: $E \cdot a = 3{,}50$

Para las variaciones anuales de temperatura:

$$E \cdot a = 0{,}95$$

Estas variaciones del valor $E \cdot a$ pueden explicarse por la fluencia del hormigón y, efectivamente, se puede construir un modelo reológico del hormigón que verifique exactamente estos valores.

Es posible también que otros fenómenos todavía poco conocidos intervengan, pero, en definitiva, cualquiera que sea la causa, $E \cdot a$ varía según los valores indicados.

Es lógico que el valor $E \cdot a$ sea mayor en verano que en invierno, pues en verano las variaciones de temperatura son más bruscas, en razón de las variaciones de soleamiento o de las lluvias borrascosas que sobrevienen a una jornada cálida.

Si se toman las mismas cifras para Francia (el ensayo de Fontenay-Trésigny hasta el momento parece confirmar los valores), y se adoptan variaciones diarias de la temperatura media de la losa en $\pm$ 6° C y variaciones anuales de $\pm$ 21° C, resultará como variación del pretensado:

$$dN = 6 \times 2{,}35 + 6 \times 3{,}50 + 42 \times 0{,}95 = 75 \text{ kg/cm}^2$$

Si se estima en 20 kg/cm² el pretensado máximo necesario, el valor máximo de p será entonces 95 kg/cm². Pero esto supone que la retracción haya finalizado y que el pretensado sea constante en toda la losa, a lo que se opone el rozamiento.

Por medida de seguridad se da un pretensado suplementario de 30 kg/cm², el cual no basta para contrarrestar la retracción, pero en la losa se colocan dispositivos para «recuperar» el pretensado, que permiten, de tiempo en tiempo, volver a aplicar el valor perdido por retracción.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Hemos tenido en cuenta las variaciones térmicas sin considerar las variaciones higrométricas. Esto se justifica en el clima de Francia, pero en otros países puede no ser justificable.

5. Conclusiones relativas a las calzadas de hormigón pretensado

5.1. Sería prematuro, actualmente, considerar que un sistema de pretensado es superior a los otros y debe ser utilizado exclusivamente. En realidad, la elección de la solución depende del clima del lugar y de consideraciones económicas.

En pistas para aeropuertos y países con variaciones suaves de la temperatura, como Argelia, París, Bruselas, se ha elegido la solución fija. En Colonia (Alemania), con clima continental y donde los aceros de alta resistencia son de menor precio, se adoptó la solución móvil con pretensado interno.

5.2. En caminos, la solución fija tiene grandes ventajas: no posee juntas que en carreteras de gran tránsito tienden a deteriorarse; es un sistema sencillo y no precisa conservación.

Presenta algunos inconvenientes:

Estribos de extremidad muy costosos. Estribos laterales en las curvas cerradas. Riesgos de pandeo durante los días cálidos y húmedos (este fenómeno, a pesar de los cálculos teóricos y las experiencias realizadas, está todavía poco dilucidado).

Los riesgos de pandeo son menores en las pistas para aeropuertos, pues son de mayor espesor y más anchas que las calzadas para caminos. Aun cuando todavía no se ha ensayado, se piensa disminuir los últimos inconvenientes citados utilizando para las carreteras losas nervadas longitudinalmente.

5.3. La solución fija podría prestarse a una asociación del hormigón y del asfalto. En efecto, es posible colocar sobre el hormigón pretensado sin juntas, una delgada capa (2 a 5 cm) de mortero bituminoso que adhiera fuertemente. Se ganaría en lisura y suavidad en el rodamiento. El costo de la obra aumentará con el precio del mortero bituminoso, agregando también la capa para adhesión (por ejemplo, emulsión ácida).

Por otra parte, las variaciones de temperatura diaria serán ligeramente mayores, pues el color negro absorbe mejor el calor. Pero los gastos de terminación superficial pueden disminuirse y aún utilizar un hormigón rústico muy económico.

Finalmente, el costo de esta solución mixta sería poco más elevado que la solución de hormigón pretensado solamente.

5.4. La solución móvil con pretensado interno da obras de gran seguridad. En Francia existen tramos experimentales en este tipo con un perfecto comportamiento bajo circulación desde hace quince años. El inconveniente principal de esta solución son las juntas, que aunque puedan estar muy espaciadas (100 a 250 m) constituyen puntos débiles, particularmente en las carreteras de tránsito pesado donde están sometidas a un golpeteo continuo. Nuevos tipos de juntas (en neopreno) utilizadas en Fontenay-Trésigny parecen comportarse bien, pero serán necesarios varios años de experiencia para obtener en este tema conclusiones ciertas.

Otro inconveniente de esta solución es el precio, en general más elevado que en los otros tipos, debido a la gran cantidad de acero de alta resistencia que se necesita por metro cuadrado (alrededor de 2,5 kg/m², que trabaja después de la retracción y fluencia a 85 kg/cm²). Sin embargo, los rápidos progresos en la metalurgia de los alambres de acero de alta resistencia permiten esperar que disminuya el precio del acero. La ventaja principal de esta solución es su insensibilidad a las variaciones de temperatura, razón del desarrollo en los países de clima fuerte (U.R.S.S., Alemania...).

5.5. La solución móvil con pretensado externo es la más reciente de las soluciones en las carreteras de hormigón pretensado y también necesita todavía perfeccionamientos en cuanto a sus dispositivos prácticos.

Tiene como ventaja que el acero es mejor aprovechado en esta solución que en la solución con pretensado interno. En efecto, en la solución móvil con pretensado interno, si N es la tensión máxima de trabajo en el acero, la cantidad de acero a utilizar por unidad de superficie es proporcional a $\frac{l}{N}$. En cambio, en la solución móvil con pretensado externo, interviene la tensión de trabajo del acero, N, y su deformación $\frac{N}{E}$; por lo tanto, la cantidad necesaria por unidad de superficie del pavimento es proporcional a $\frac{E}{N^2}$.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Los progresos en la metalurgia de los aceros para pretensado que permiten trabajar con tensiones del acero de 100 kg/mm² y, sin duda, próximamente con 200 kg/mm², favorecen esta solución.

En este tipo de pavimento de hormigón pretensado el acero trabaja como acumulador de energía y, a este respecto, existen otros materiales que se comportan mejor y son más económicos (el aire comprimido, por ejemplo).

Esta solución, como la anterior, tiene el inconveniente de la conservación de las juntas, que pueden ser muy espaciadas.

No es insensible a las variaciones de temperatura, pero es poco sensible, y, si bien necesita estribos en los extremos, éstos son de menos peso e importancia que los de la solución fija.

Discusión

Ing. Franciosi: Quería hacer una aclaración. El Ing. Freyssinet es justamente considerado el padre del hormigón precomprimido o pretensado, pero no su descubridor. El precomprimido ha sido inventado en Italia por el Ing. Viannini, que en 1925 patentó el sistema de precompresión de tubos antes que Freyssinet, y aquí tiene dos fábricas instaladas con el sistema Viannini. Freyssinet desarrolló completamente el sistema de precomprimido en todos los otros campos que no sea el de la tubería precomprimida; por eso se merece el nombre de padre del precomprimido porque amplió notablemente el campo, pero—como dije anteriormente—no fue el que lo inventó.

Ing. Duvoy: Sin entrar en una polémica, porque el tema sería muy extenso, la idea del pretensado en el hormigón viene desde muy antiguo; desde el comienzo del hormigón armado se trató de evitar la fisuración tesando la armadura. A raíz de las pérdidas que se producían por la fluencia del acero, se perdía al cabo de un cierto tiempo el pretensado. El primero que logró éxito, estudiando a fondo el problema de la retracción y fluencia del hormigón y empleando el acero de alta resistencia, fue el Ing. Freyssinet. Por eso se le ha considerado el padre del hormigón pretensado en el mundo.

nota importante

Ponemos en su conocimiento que con este múmero vence la suscripción.

De no haber recibido aviso, estimaremos acepta la prórroga por igual período de tiempo.

El número 70 se enviará contra reembolso del importe total de la suscripción.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

591 - 5 - 7

pavimento de hormigón pretensado para carreteras

tramos de ensayo del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Francia, ejecutado por la Empresa Société des Grands Travaux de Marseille

Ing. J. COURBON Ing. Jefe de Puentes y Caminos
Profesor en la Ecole National de Ponts et Chaussées

(Conferencia pronunciada en el «Simposio sobre Pavimentos de Hormigón», celebrado en Buenos Aires en 1960.)

El Ministerio de Trabajos Públicos y Transportes de Francia ha realizado un ensayo de pavimento de hormigón pretensado en la carretera Fontenay-Trésigny. Se construyeron tramos de calzadas de hormigón pretensado aplicando los distintos sistemas.

El ensayo permitirá estudiar el comportamiento del pavimento de hormigón pretensado sometido a la acción del tránsito y determinar, en cada sistema, la influencia de los diferentes factores, comprobando la relación que existe entre los datos teóricos de proyecto y los valores experimentales.

La Empresa Grands Travaux de Marseille construyó un tramo de 350 metros de longitud, cuyo pretensado interior estaba creado por cables longitudinales y transversales. El pretensado longitudinal y transversal es diferente en las tres losas que constituyen el tramo. Existe además un pretensado externo originado por juntas activas de neopreno, colocadas entre losa y losa.

La estabilidad del tramo al esfuerzo producido por el pretensado externo está asegurada por estribos extremos, constituidos por una losa de tracción enterrada en el suelo.

En el tramo se han colocado numerosos aparatos para medir y registrar los valores del ensayo.

Los resultados ya obtenidos del ensayo permiten conocer la influencia de las variaciones de temperatura, los valores concernientes al deslizamiento de las losas y otros parámetros necesarios para el proyecto.

El pavimento de hormigón pretensado es una solución, que, a la par de mejorar la calidad y el comportamiento del pavimento, disminuirá el costo.

El Ministère des Travaux Publics et des Transports de Francia en el año 1959 ha realizado un tramo de carretera pavimentado con los distintos sistemas de hormigón pretensado. Este ensayo en tamaño natural está destinado a obtener datos y valores de los numerosos parámetros y coeficientes que intervienen en las fórmulas deducidas teóricamente de la teoría del pavimento de hormigón pretensado.

Además, estos ensayos permitirán comprobar el comportamiento de las calzadas de hormigón pretensado bajo la acción del tránsito pesado y establecer el costo de estas obras para poder efectuar comparaciones en el aspecto económico. Los tramos de ensayo de calzada de hormigón pretensado se construyeron en la carretera Fontenay-Trésigny. El Ministerio de Trabajos Públicos y Transportes había ya hecho ejecutar el conjunto de los terraplenes, que fueron construidos empleando arena fina, silícea, sin plasticidad, cuya granulometría era la siguiente:

Que pasa el tamiz de 500μ	100 %
Que pasa el tamiz de 200μ	60 a 75 %
Que pasa el tamiz de 80μ	10 a 15 %
Indice de plasticidad	cero

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Esta arena, en estado de humedad, se compactaba fácilmente, pero perdía la compactación rápidamente por el tránsito cuando se encontraba seca.

El ensayo consistió en ejecutar diferentes tramos por las Empresas especializadas, y a Grands Travaux de Marseille le fue adjudicado un tramo con 350 m de longitud. La presente Memoria describe los trabajos de ese tramo, así como sus detalles de calzada y los dispositivos de que consta.

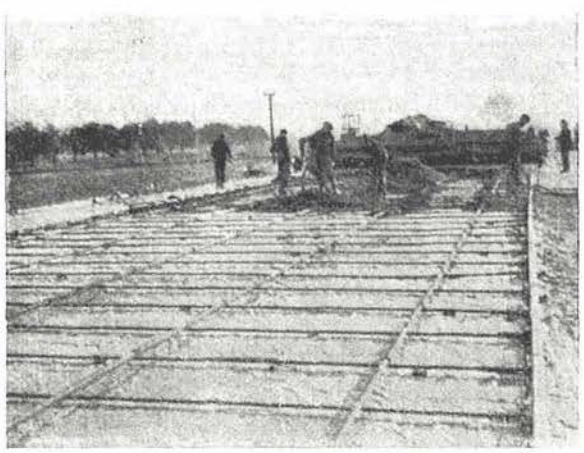
I. Características generales

La calzada tiene 7,50 m de ancho y la longitud del tramo es 350 m y está dividido en tres losas de 116,67 m de longitud con espesor uniforme de 12 cm. Las losas están pretensadas interiormente por cables longitudinales y transversales, pero la tensión de pretensado tiene diferentes valores en las tres losas, con el fin de poder estudiar la influencia de este parámetro en el comportamiento de la calzada y determinar, si es posible, los valores mínimos de pretensado para los que no aparecen fisuras en el pavimento. Las losas están separadas por juntas de tipo patentado, cuyo objeto principal es mantener la continuidad en la superficie de rodamiento, pero que además ejercen un ligero pretensado externo. En cada extremo del tramo de calzada existe un estribo, del tipo denominado «a tracción». Plano I.

II. Pretensado interno

El pretensado interno se ha logrado por cables formados por cordones constituidos con alambres de alta resistencia. En el sentido longitudinal se utilizan los cables G.T.M. para 35 t con anclaje por chavetas, mientras que en el sentido transversal se utiliza el cable G.T.M. para 12 t con anclaje a rosca.

Fig. 1



Los cables van dispuestos en el interior de vainas metálicas, tipo tubos de calefacción, colocadas en su posición antes de hormigonar. Endurecido el hormigón se introducen los cables en los tubos (figuras 1 y 2).

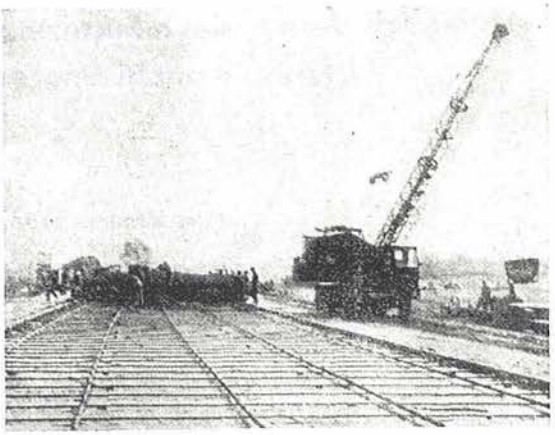


Fig. 2

a) *Pretensado longitudinal.*

La primera losa posee 4 cables longitudinales de 36 t; la segunda, 5 cables de 36 t, y la tercera, 3 cables de 36 t. En el transcurso del tiempo hay una disminución de la fuerza de pretensado longitudinal originada por la retracción del hormigón y la fluencia del acero. Además, es necesario considerar la pérdida producida por el rozamiento, que tiene un valor de 2 toneladas.

La fuerza de pretensado que cada cable transmite al hormigón, una vez consideradas las pérdidas enunciadas, es 32 toneladas.

Por lo tanto, el pretensado longitudinal permanente es, respectivamente, 14,2 kg/cm² en la losa 1; 17,8 kg/cm² en la losa 2, y 10,7 kg/cm² en la losa 3.

b) *Pretensado transversal.*

Así como el pretensado longitudinal permanente es diferente en las losas 1, 2 y 3, también lo es el pretensado transversal permanente.

El pretensado en la losa 1 fue realizado mediante armaduras de 12 t de tensión inicial, que determinan 10 t de tensión final considerando las pérdidas producidas por retracción del hormigón, fluencia del acero y los rozamientos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

En la losa 1 la separación de estos cables es 1,20 m y, por consiguiente, el pretensado transversal es 7,6 kg/cm². En la losa 2 el espacio entre cable y cable es 0,90 m, por lo tanto el pretensado transversal resultante es 10,2 kg/cm². Por último, en la losa 3, hay un cable cada 1,50 m originando un pretensado transversal de 6,1 kilogramos/cm².

III. Las juntas

Las juntas tienen una importancia capital para la conservación del pavimento, pues del buen estado de las mismas, principalmente en lo correspondiente a la estanquidad, depende la estabilidad de la fundación.

En el tramo de ensayo de pavimentos de hormigón pretensado de Fontenay-Trésigny se han empleado sistemas patentados para juntas constituidos por perfiles I.P.N. de 12 cm de alto colocados de canto. Planos II, III y IV.

Entre estos perfiles se han colocado a presión bloques alveolados de neopreno, obteniendo un elemento elástico. La superficie de rodamiento está constituida por las alas superiores de los perfiles I.P.N., que están prácticamente juntas en el momento de la colocación, pero que pueden separarse 2 cm, o más, una vez producida la retracción y en la época de las bajas temperaturas del invierno.

Esta separación corresponde a la superposición de dos fenómenos: retracción del hormigón y descenso de temperatura El contacto losa-junta está asegurado aun para variaciones de temperatura de 30° C.

El ala inferior de los perfiles I.P.N. reposa sobre una losa en hormigón armado, que sirve de soporte a los extremos de las losas que constituyen la calzada.

Estas losas inferiores se utilizan durante la construcción como soporte de los gatos, de tensión de los cables para el pretensado longitudinal.

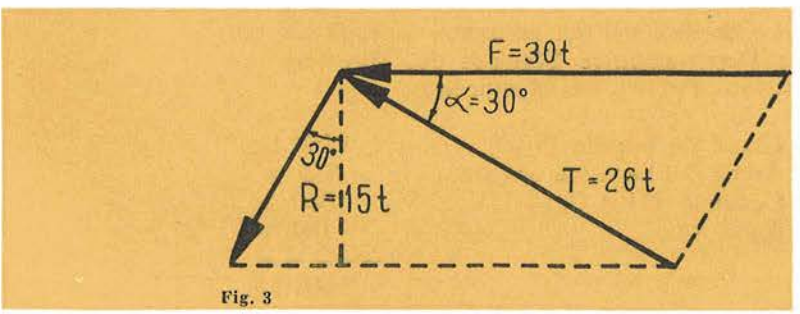


Fig. 3

En el momento de su colocación, las juntas desarrollan una fuerza de 30 t por metro lineal creando, como ya se ha indicado, un pretensado externo suplementario que se agrega al pretensado interno longitudinal originado por los cables de 36 t. De esta manera se asegura la permanencia del pretensado interno.

Las dimensiones de la junta han sido determinadas de manera que ni la retracción del hormigón, ni las variaciones en la temperatura puedan producir una separación de la junta y de la losa adyacente.

IV. Estribos

La colocación de las juntas origina un esfuerzo longitudinal de 225 t para el ancho total de la calzada. A pesar de que el peso de una losa es superior a 250 t, se ha considerado necesario asegurar la estabilidad del tramo mediante dos estribos fijos situados en los extremos del tramo de 350 m. Entre los estribos y los extremos de los tramos adyacentes se han colocado medias juntas para que exista la mayor homogeneidad. El estribo resiste únicamente un esfuerzo máximo horizontal de 225 toneladas.

Cada estribo consta de una losa de tracción y un apoyo, de modo que la fuerza horizontal se descompone en dos fuerzas que, en total, constituyen un sistema en equilibrio. Planos V, VI y VII.

La losa de rozamiento tiene una inclinación de 30° con respecto a la horizontal, y el apoyo es perpendicular a esta losa (figura 3).

Los esfuerzos por m. l. son:

En la losa: $T = 30 \times \cos 30° = 26$ t.

En el apoyo: $R = 30 \times \text{sen } 30° = 15$ t.

a) *Apoyo.*

La fundación del apoyo depende de las características del terreno. En caso de suelos con baja capacidad de carga pueden emplearse pilotes de madera de 20 a 30 t de carga.

Si la tensión admisible en el terreno es 1,5 kg/cm²:

Ancho de la losa: 1 m.

Espesor de la losa: 0,15 m.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Espesor del apoyo: 0,15 m.

$$\text{Ménsula } M = \frac{15 \times 0{,}5^2}{2} = 2 \text{ m} \times \text{t}$$

b) *Losa de rozamiento.*

Esta losa hormigonada sobre el terreno posee en el extremo una nervadura de anclaje.

Sea: H profundidad en el terreno del extremo de la losa.

α ángulo de la losa con el pavimento supuesto horizontal.

φ ángulo de rozamiento interno del terreno.

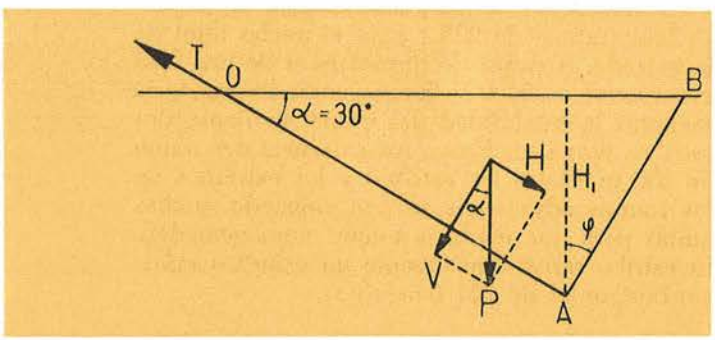


Fig. 4

Para que no haya deslizamiento es necesario que la fuerza de rozamiento según OA, originada por el peso de la sección OAB de terreno, sea superior a la tracción T.

El coeficiente de rozamiento de la losa sobre el suelo es f.

$$\text{La longitud } OB = H_1 \left(\frac{1}{\text{tg } \alpha} + \text{tg } \varphi\right)$$

Si la densidad del suelo es Δ, el peso de la sección OAB es:

$$P = \frac{2}{1} \Delta H_1^2 \left(\frac{1}{\text{tg } \alpha} + \text{tg } \varphi\right)$$

y la componente normal a OA tiene el valor:

$$V = P \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \Delta H_1^2 \left(\frac{1}{\text{tg } \alpha} + \text{tg } \varphi\right) \cos \alpha$$

y la componente en la dirección OA:

$$H = P \cdot \text{sen } \alpha = \frac{1}{2} \Delta H_1^2 \left(\frac{1}{\text{tg } \alpha} + \text{tg } \varphi\right) \text{sen } \alpha$$

La condición de equilibrio es:

$$T - H < V \cdot f$$

$$T - \frac{1}{2} \Delta H_1^2 \left(\frac{1}{\text{tg } \alpha} + \text{tg } \varphi\right) \text{sen } \alpha <$$

$$< \frac{1}{2} \Delta H_1^2 \left(\frac{1}{\text{tg } \alpha} + \text{tg } \varphi\right) \cdot f \cdot \cos \alpha$$

$$T < \frac{1}{2} \Delta H_1^2 \left(\frac{1}{\text{tg } \alpha} + \text{tg } \varphi\right) (\text{sen } \alpha + f \cdot \cos \alpha)$$

Si, en este caso:

$$f = \text{tg } \varphi = \text{tg } \alpha = \text{tg } 30^\circ$$

$$T < \frac{1}{2} \Delta H_1^2 \frac{1 + \text{tg}^2 \alpha}{\text{tg } \alpha} (\text{sen } \alpha + \text{tg } \alpha \cos \alpha)$$

$$T < \frac{\Delta H_1^2}{\cos \alpha}$$

$$H_1 > \sqrt{\frac{T \cdot \cos \alpha}{\Delta}}$$

Para $T = 26$ t $\qquad\qquad \Delta = 1{,}7$ t/m³

$$H_1 > \sqrt{\frac{26 \times 0{,}866}{1{,}7}} = 3{,}64 \text{ m}$$

$$H_1 = 3{,}65 \text{ m}$$

$$\text{La longitud } OA = \frac{3{,}65}{0{,}5} = 7{,}30 \text{ m.}$$

El espesor de la losa es 15 cm y las armaduras en el sentido de tracción ∅ 12 Tor en las dos caras, separados 0,15 m. En el sentido transversal la armadura está constituida por ∅ 12 Tor, en dos capas, con separación 0,25 metros.

V. Características del hormigón Procedimiento de hormigonado

La dosificación del hormigón especificada por los Departamentos Técnicos del Ministère des Travaux Publics, era la siguiente:

Grava de pórfido (5/25)	1.260 kg
Arena del Sena (no calcárea)	675 »
Cemento C.P.A.C.	350 »
Agua total	180 »
	2.465 kg

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Este es un hormigón, del tipo para «obras de arte», con granulometría semi-discontinua, y con mínimo de vacíos. La relación agua-cemento es bastante alta: $\frac{A}{C} = 0{,}515$.

Las resistencias a la compresión obtenidas sobrepasaron los 300 kg/cm² para 28 días de edad.

La colocación se realizó mediante una vibroterminadora Blaw-Knox de 7,50 m de ancho, y se dio rugosidad a la superficie por barrido de la lechada con cepillos de paja.

El curado del hormigón se efectuó mediante la aplicación de películas «compounds» y cubriendo el pavimento con esteras de paja humedecidas. Gracias a estas precauciones, y a pesar de la sequía excepcional reinante en la época del hormigonado, hubo muy pocas fisuras de retracción. Estas desaparecieron cuando se ejerció el pretensado del pavimento.

VI. Mediciones

El Ministère des Travaux Publics et des Transports hizo instalar numerosos aparatos, con el fin de tomar datos y registrar diferentes valores que interesan especialmente en este ensayo. Los valores que se determinan son:

a) *Temperatura.*

Mediante sondas térmicas situadas en el hormigón y en el suelo y con un sistema registrador puede estudiarse el modo de propagación del calor tanto en el hormigón como en el suelo.

b) *Deformaciones.*

La determinación de las deformaciones en el hormigón se realiza midiendo periódicamente las variaciones de la separación entre puntos fijos, constituidos por elementos metálicos anclados en el hormigón. Estas deformaciones se relacionan con las mediciones de los desplazamientos y las tensiones.

c) *Desplazamientos.*

Los desplazamientos de las losas se conocen midiendo las distancias de puntos fijos de las losas a otros situados fuera. Así, puede determinarse el movimiento de los estribos y los desplazamientos longitudinales y transversales de las losas.

También se miden las variaciones de abertura de las juntas, que permite conocer los desplazamientos de las losas con relación a las losas vecinas o a los estribos.

d) *Empujes.*

Puede determinarse el valor de manera precisa en las juntas elásticas y, además, se han colocado juntas especiales con sistemas electrónicos de medida.

e) Se ha previsto también realizar mediciones de la deflexión por cargas estáticas y dinámicas, regularidad superficial y deslizamiento de las losas.

Resultados.

Actualmente, debido al corto lapso de tiempo transcurrido, es prematuro establecer juicios sobre el comportamiento del pavimento. Los datos obtenidos permiten ya conocer con precisión la influencia de las variaciones de temperatura en el pavimento de hormigón pretensado, los valores concernientes al deslizamiento de las losas en el suelo, etc.

Desde el punto de vista económico, parece que el pavimento de hormigón pretensado permitirá disminuir el precio del pavimento de hormigón, obteniéndose soluciones económicas con una apreciable mejora en la calidad y comportamiento.

Armadura de pretensado.

Cable G.T.M. para fuerza inicial 36 *toneladas.*

El cable de 36 t está constituido por cuatro cordones de 7 alambres de ∅ 3,6 mm de diámetro, fijados en ambos extremos con sistemas de anclaje que transmiten el esfuerzo al hormigón. El tesado del cable se realiza por medio de gatos que apoyan sobre el hormigón a pretensar, una vez que éste, fraguado y endurecido, posee suficiente resistencia.

El cable se coloca en el encofrado dentro de un tubo metálico, antes del hormigonado del elemento, o bien puede disponerse la vaina metálica en la posición correspondiente e introducir el cable posteriormente al hormigonado.

Después de tesados los cables se inyecta mortero de cemento, por un orificio en uno de los anclajes, llenando totalmente la vaina.

Calidad del acero.

Los alambres son de acero al carbono, trefilados y con resistencia a la rotura 140-160 kg/mm². Los elementos de anclaje son de acero semi-duro.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

El acero de las chavetas debe tener una dureza inferior a la de los alambres, pero superior a la dureza del zuncho.

Descripción de los anclajes.

Un anclaje está formado por cuatro chavetas apretadas sobre los cordones del cable mediante un zuncho, y el conjunto transmite el esfuerzo al hormigón por medio de una placa que reparte uniformemente la tensión. Las chavetas tienen un perfil determinado en las zonas de contacto con los cordones, superficies cilíndricas con un diámetro ligeramente inferior al de los cordones. La superficie exterior es cilíndrica (figs. 5 y 6).

La superficie interior del zuncho es un cilindro, con borde tórico en la parte inferior. El zuncho ejerce sobre las chavetas una presión suficiente para producir la penetración de los alambres en el metal de las chavetas.

Tesado de la armadura.

La tensión se realiza mediante un gato anular con dos cuerpos opuestos. El cable está anclado en uno de los extremos; en el otro se ejerce una tracción de 45 t de tal manera que por deformación plástica las tensiones en los cuatro cordones sean iguales. Transcurrido un lapso de algunos minutos, se reduce la tracción del cable a 35 t, y las chavetas son colocadas entre los cordones y en contacto con la placa de apoyo. Se introduce el zuncho, quedando el cable definitivamente anclado. Se corta el cable, aproximadamente a 0,20 m de la placa de apoyo, y los alambres se doblan sobre el anclaje Todo el conjunto es cubierto con hormigón. Luego se inyecta mortero de cemento en el interior de la vaina que ocupa la armadura.

Cable G.T.M. para fuerza inicial 12 toneladas.

El cable para 12 t, inventado por la «Société des Grands Travaux de Marseille», se tesa apoyando sobre el hormigón.

Está constituido por:

a) Un cable de 3 cordones, cada uno con 3 alambres ø 3,6 mm de diámetro. El acero tiene una carga máxima de 160-180 kg/mm², y la sección total del cable es 92 mm². El retorcido del cable está realizado de modo que impida la penetración de los alambres entre ellos, y para evitar la oxidación se le suministra engrasado.

b) El anclaje se logra por trefilado en frío de un tubo sobre el cable. El cable es introducido en el tubo, y el conjunto cable-tubo es forzado, a través de un orificio de menor diámetro, por un gato de trefilado (fig. 7), moldeándose en frío el tubo sobre el cable (fig. 8).

Este anclaje puede utilizarse como fijación, o bien como extremo para ejercer la tracción. En este último caso, en el tubo se ejecuta exteriormente una rosca (figs. 9 y 10).

Tesado el cable a la fuerza deseada, se fija en posición mediante una tuerca que toma apoyo sobre una placa de acero que transmite la fuerza de tracción del cable al hormigón.

c) La armadura se protege por un tubo rígido, de diámetro 20 mm y espesor de pared 1 mm. Posteriormente a la tensión del cable, se inyecta mortero de cemento para proteger la armadura y lograr adherencia.

Tesado del cable.

El cable se tesa mediante un gato (fig. 11), cuya cabeza se atornilla sobre el tubo roscado. Lograda la tracción del cable, se ajusta la tuerca sobre la placa de apoyo realizando así el anclaje. La sección del pistón del gato es 20 centímetros cuadrados.

Ejecución del anclaje.

Las figuras 7 y 8 muestran las operaciones necesarias para la ejecución de un anclaje, a saber:

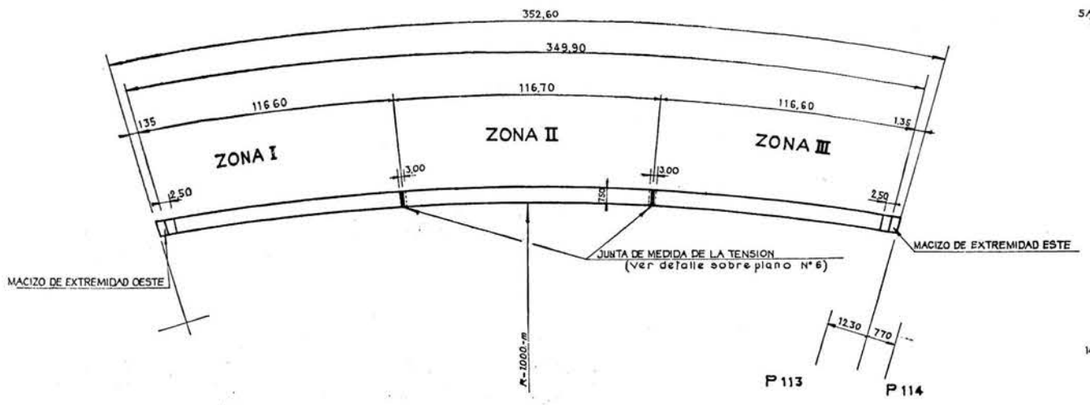
— Colocar el tubo en la cámara del gato.

— Introducir el cable dentro del tubo hasta tomar contacto con el punzón del gato.

— Forzar el conjunto «cable-tubo» a través de la matriz por medio del punzón, al esfuerzo de trefilado de 25 a 30 toneladas.

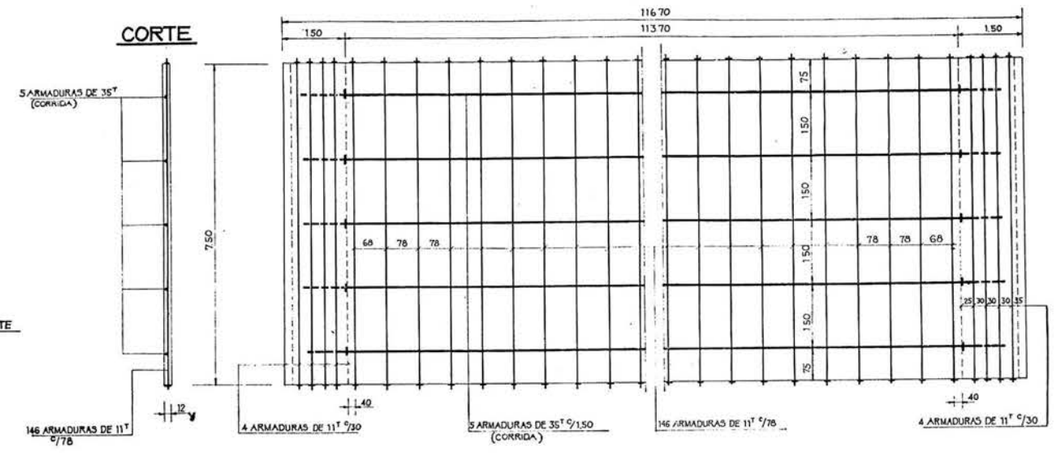
Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

ESQUEMA DE REPLANTEO



ZONA II

PLANTA



CORTE

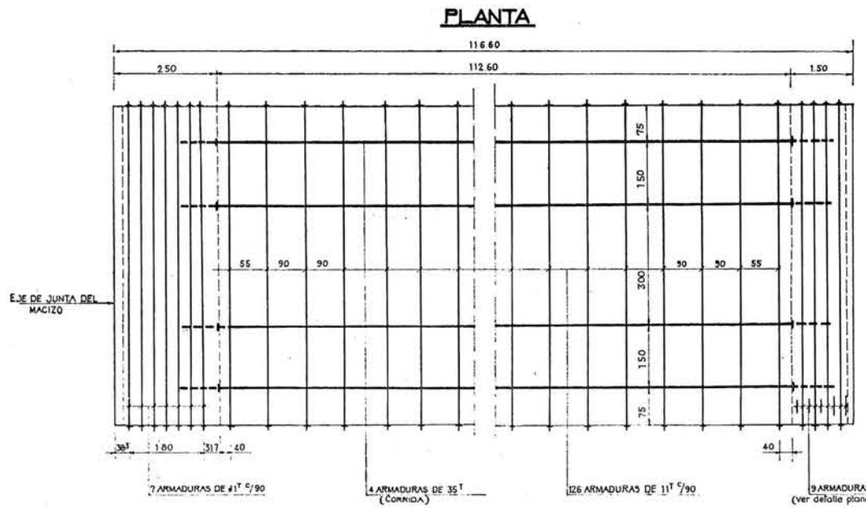
4 ARMADURAS DE 11T C/30 — 5 ARMADURAS DE 35T C/1,50 (CORRIDA) — 146 ARMADURAS DE 11T C/78 — 4 ARMADURAS DE 11T C/30

ESCALA 1:50

NOTA:
Ver detalles de juntas en planos N°5 y 6

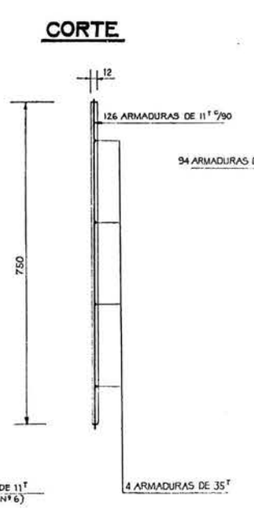
ZONA I

PLANTA

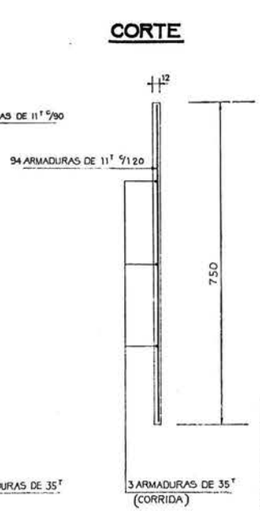


7 ARMADURAS DE 11T C/90 — 4 ARMADURAS DE 35T (CORRIDA) — 126 ARMADURAS DE 11T C/90 — 9 ARMADURAS DE 11T (ver detalle plano N° 6)

CORTE

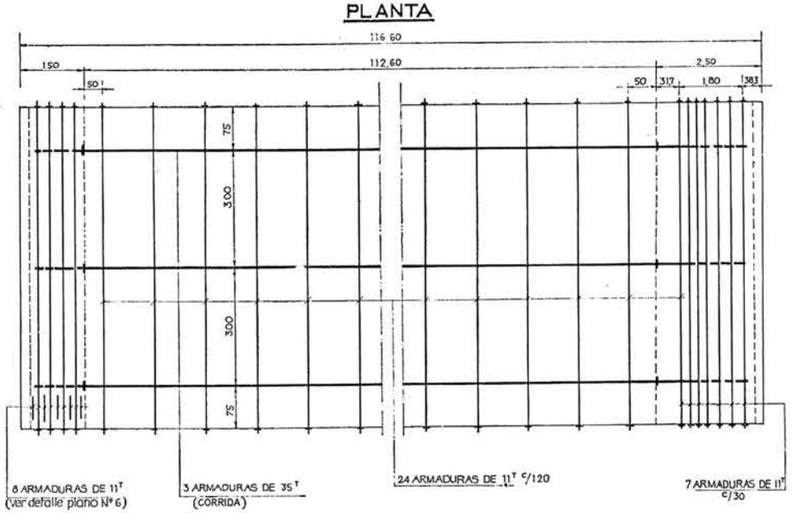


CORTE



ZONA III

PLANTA



ESCALA = 1:50

ESCALA = 1:50

PLANTAS Y CORTES

plano 1

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

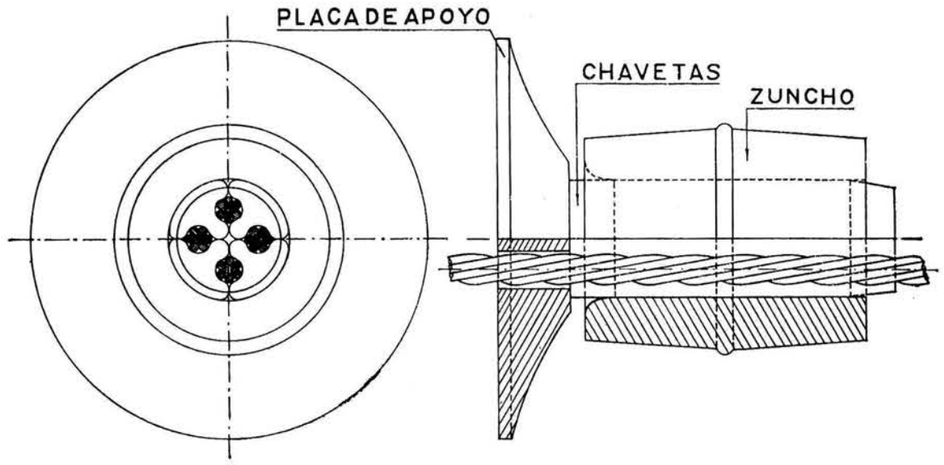


Fig. 5

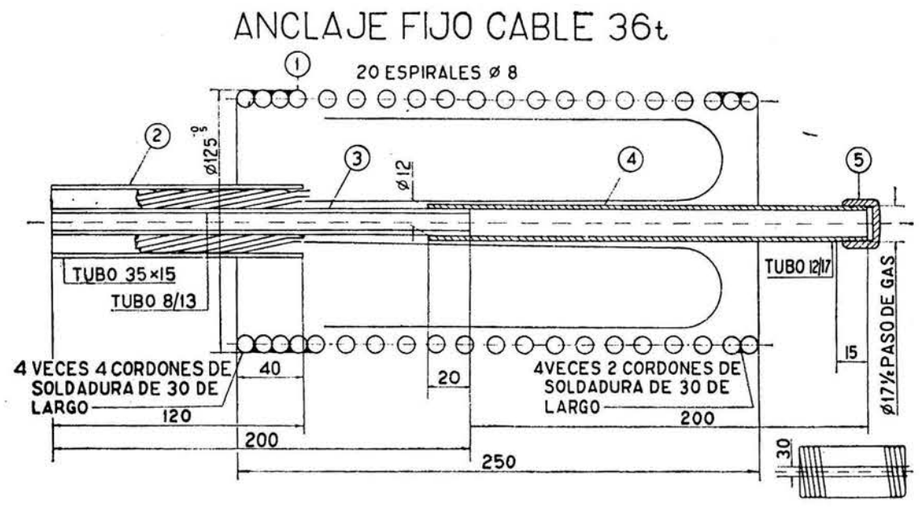


Fig. 6

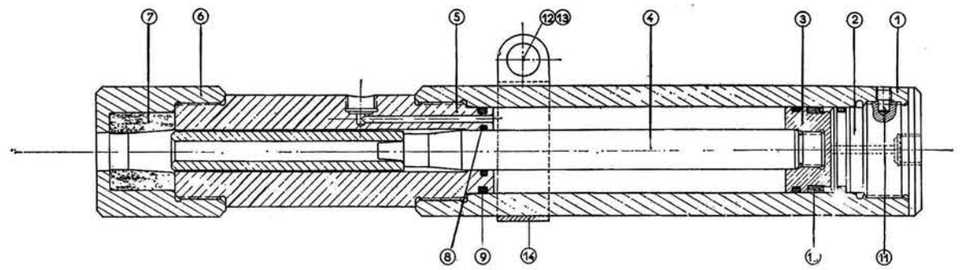


Fig. 7

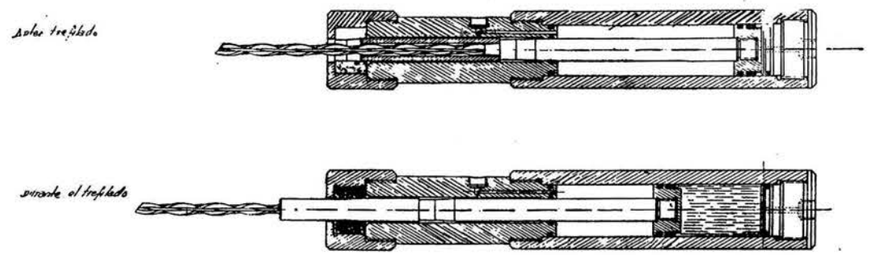




Fig. 8

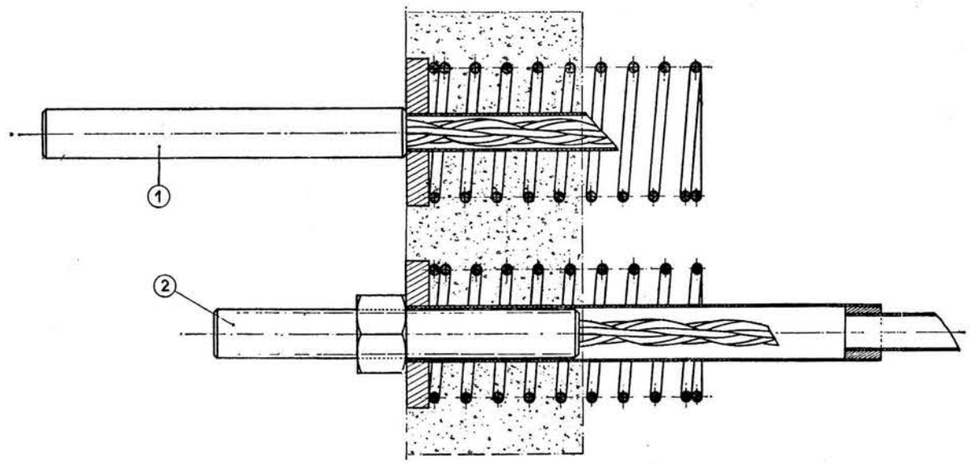


Fig. 9

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

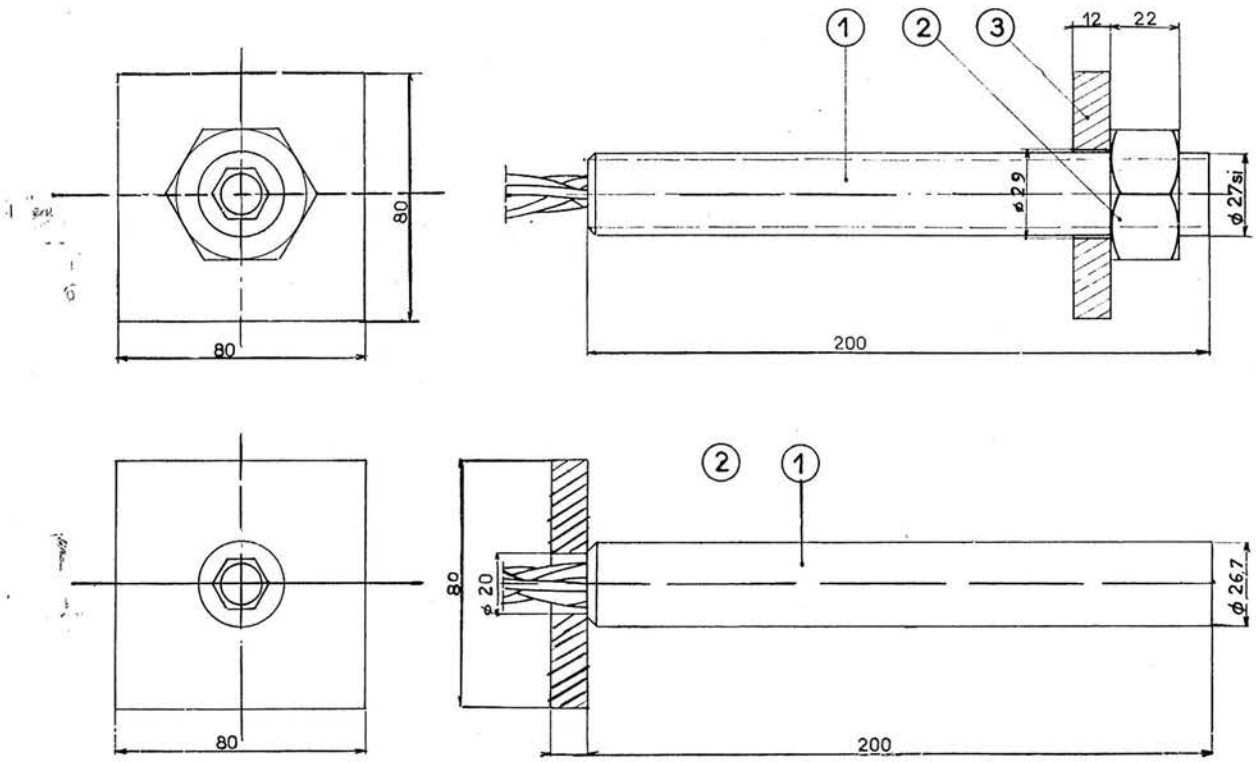


Fig. 10

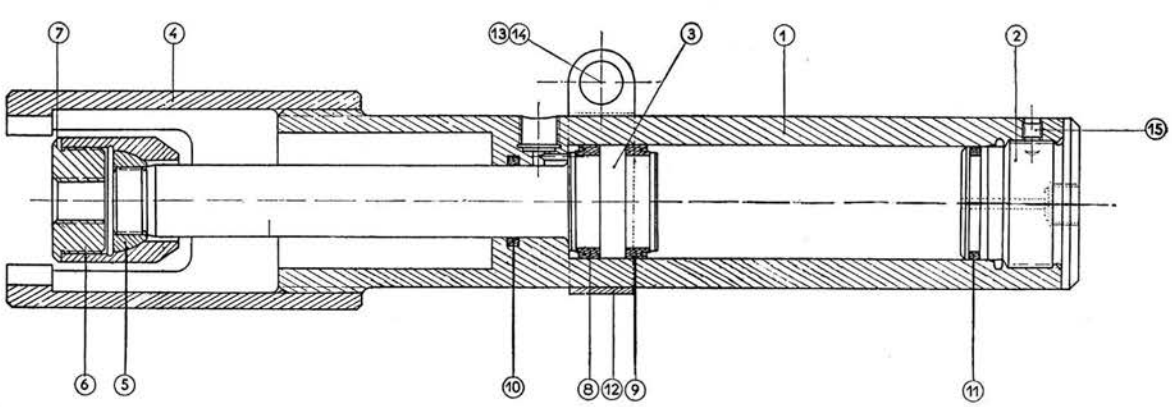
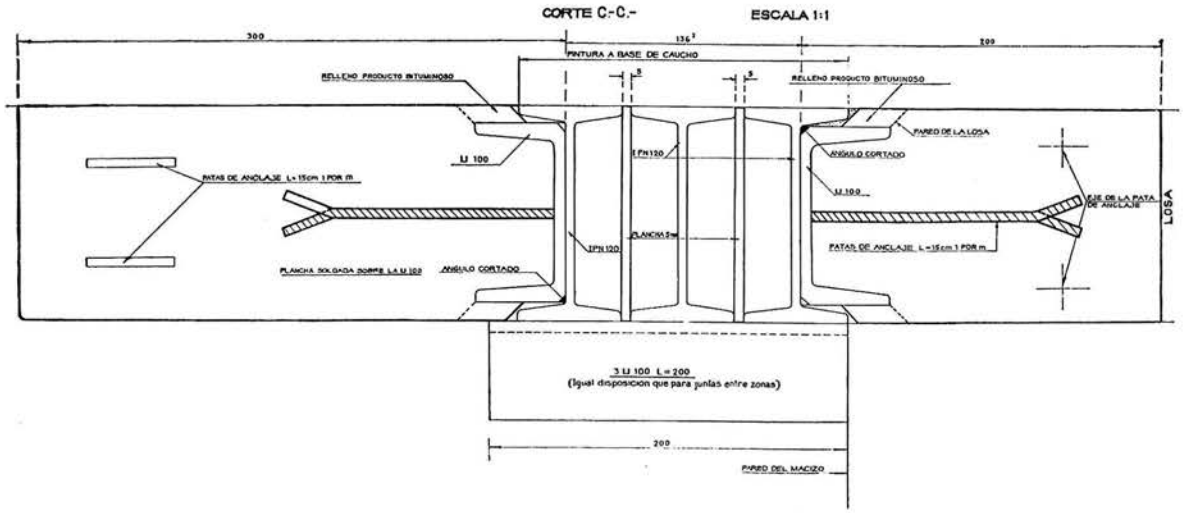


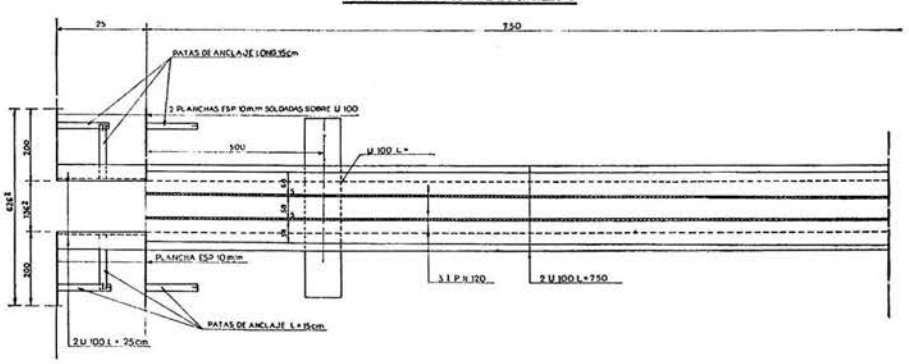
Fig. 11

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

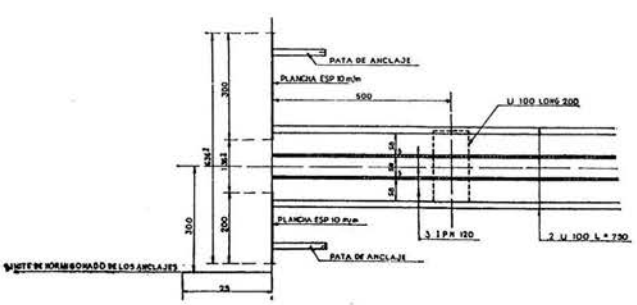
DETALLE ENSAMBLE DE JUNTA PARA APOYO EXTREMO



VISTA EN PLANTA
PARA JUNTA CORRIDA



VISTA EN PLANTA
JUNTA POR MACIZO DE EXTREMIDAD

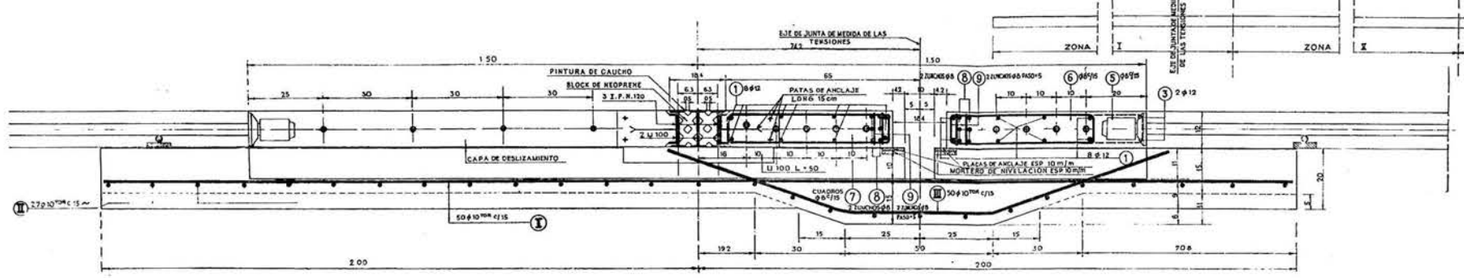


DETALLES

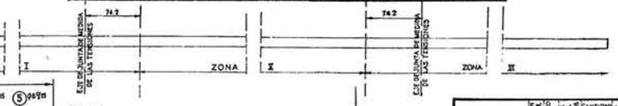
plano II

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

CORTE TRANSVERSAL DE UNA JUNTA CORRIENTE



ESQUEMA DE REPLANTEO DE LAS JUNTAS DE MEDIDA DE TENSIONES



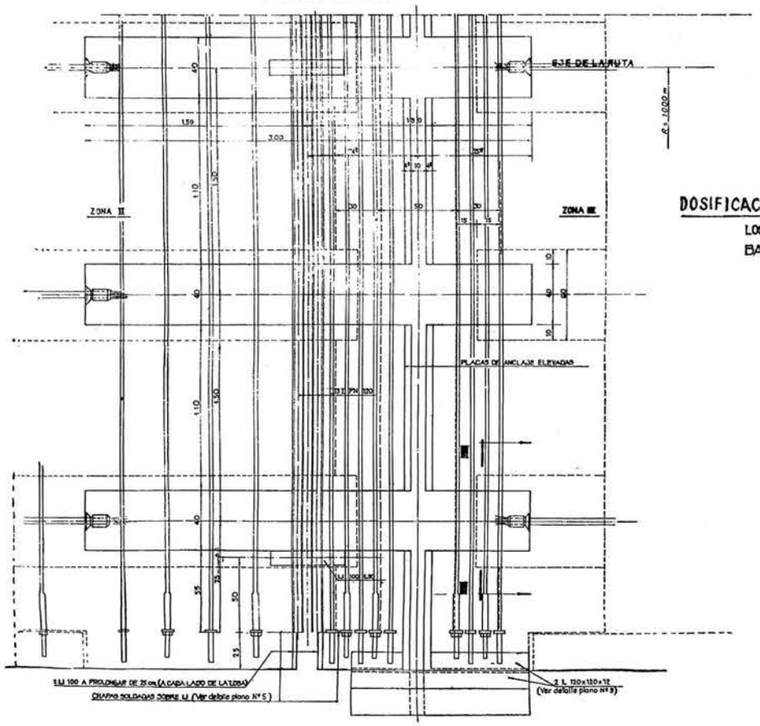
DESIGNACION	POSICION	NUMERO	DIAMETRO	LARGO PARCIAL	CANTIDAD POR PIEZA	CANTIDAD TOTAL	LARGO TOTAL	PESO (FORMAS y DIMENSIONES DE LOS ACEROS)
I		10		3.95	50	100	395.00	
II		10		7.45	27	54	402.30	
III		10		1.70	50	100	170.00	
					1.048	TOTALES	974.30	

PESO p/ml 0.617 × 974.30 = 601.15 Kg

PLANILLA DE HIERRO DEBAJO DE LA LOSA

1/2 VISTA EN PLANTA

ENTRE ZONA II Y III



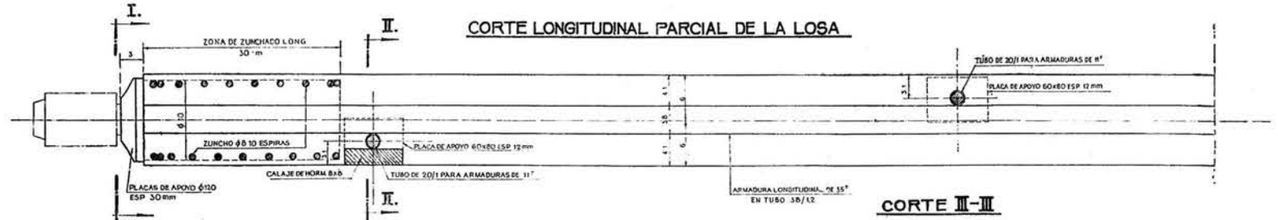
DOSIFICACION DE HORMIGON

LOSA : 350 kg/m³

BAJO-LOSA 300 kg/m³

LOSA

CORTE LONGITUDINAL PARCIAL DE LA LOSA

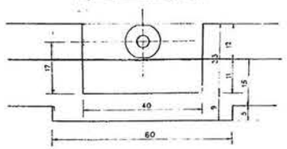


VISTA DE EXTREMO SEGUN I-I



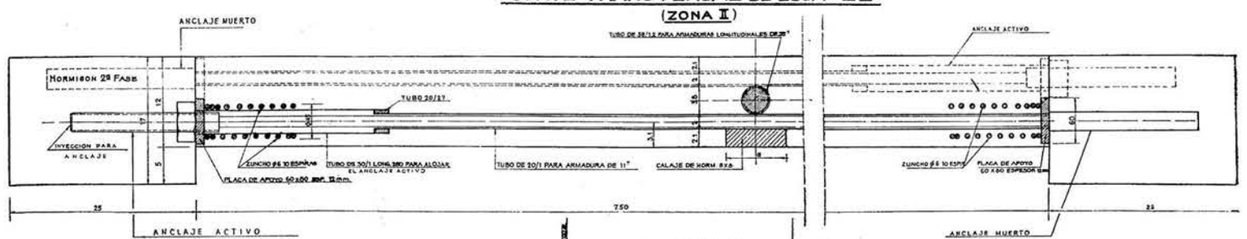
NOTA: VER LA VISTA EN PLANTA DE ARMADURA DE LA MEDIA JUNTA SOBRE EL PLANO Nº 7 –

CORTE III-III



CORTE TRANSVERSAL DE LOSA II-II

(ZONA II)

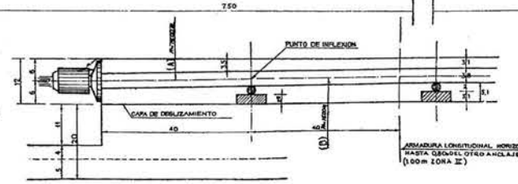


ZONAS I Y III

REPARTICION DE ARMADURAS LONGITUDINALES DE LA LOSA

ARMADURAS TRANSVERSALES POR DEBAJO DE LAS ARMADURAS LONGITUDINALES

ANCLAJES ACTIVOS Y MUERTOS ALTERNADOS DE UN MISMO LADO

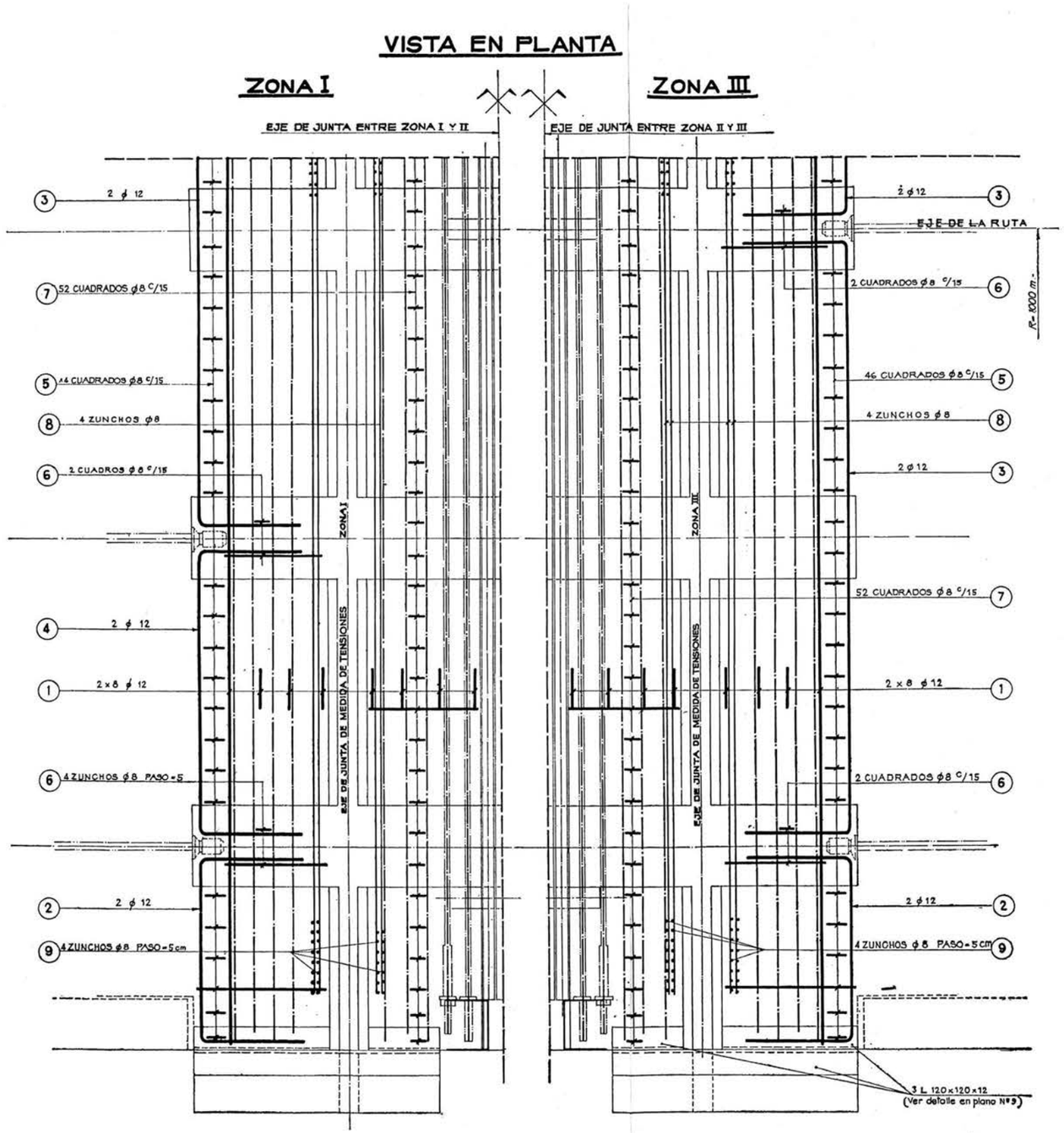


NOTA: EN LA ZONA III LOS RADIOS "A" Y "B" SON DE 25 m –

plano III

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

VISTA EN PLANTA



DESIGNACION		Designación de los aceros	Diámetro en m/m	Largo desarrollado en m	Cantidad		Largo desarrollado total en m.	Formas y dimensiones de los aceros
					Por pieza	Total		
	1	12	7.95	16	32	254.40	7.95
	2	12	1.90	4	8	15.20	50 90
	3	12	3.85	4 +2	6	23.10	50 2.85 50
	4	12	2.35		4	9.40	50 1.35 50
	5	8	1.55	46 +44	90	139.50	81 9
	6	8	1.25	6 +8	14	17.50	46 9
	7	8	1.35	52	104	140.40	51 9
ZUNCHADO	8	8	22.75	4	8	182.00	7.45
	9	8	35.65	4	8	285.20	7.45 15 9 3 Recubrimientos

RECOPILACION

ϕ	LONGITUD	PESO UNITARIO	PESO
12	302.10	0.881	266.20
8	764.60	0.392	299.80
		TOTAL: 566 Kg.	

LOSA

JUNTA DE MEDIDA DE TENSIONES

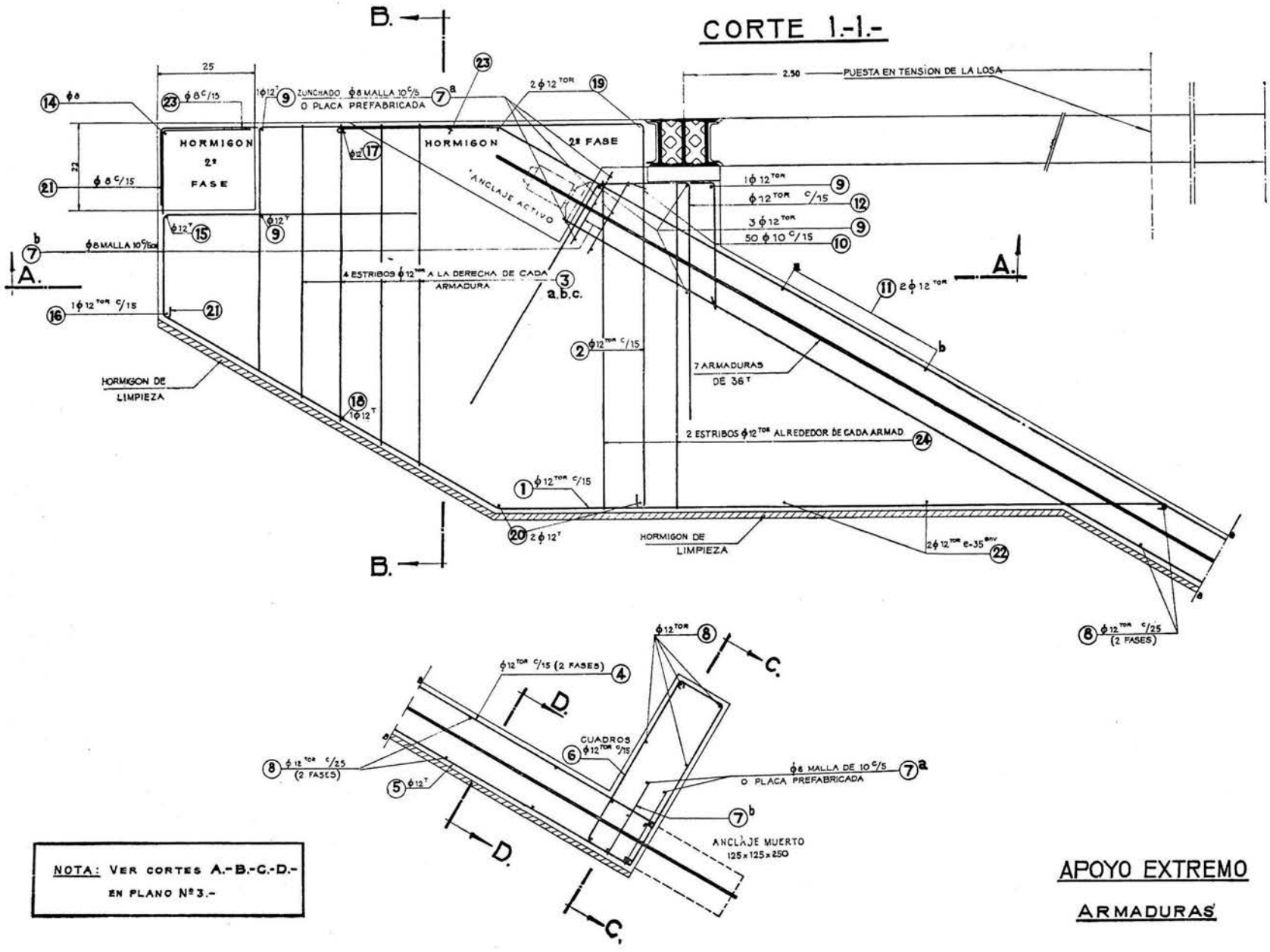
VISTA EN PLANTA – LISTA DE ACEROS

ARMADURA

plano IV

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

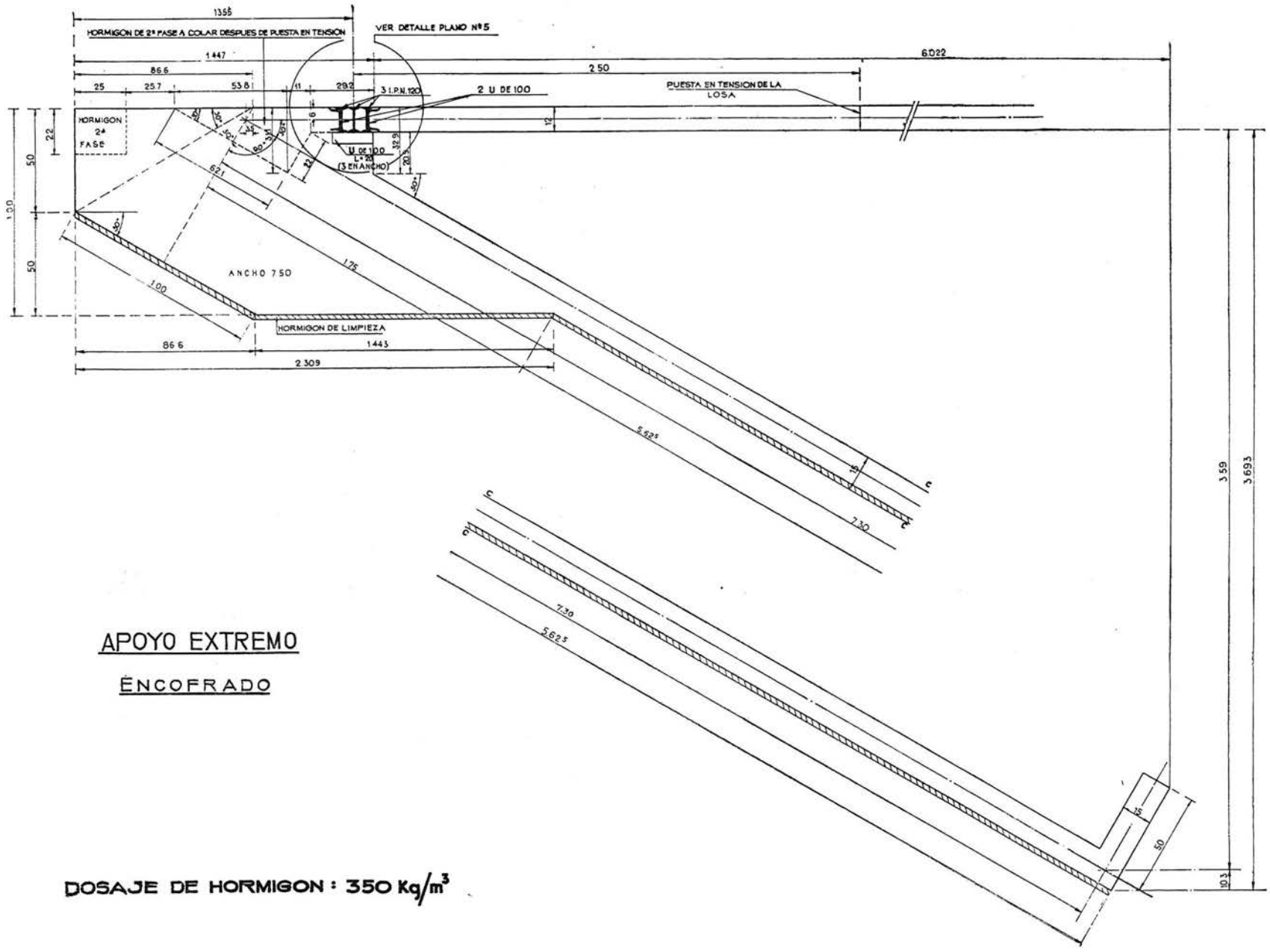


NOTA: VER CORTES A.-B.-C.-D.- EN PLANO Nº 3.-

APOYO EXTREMO

ARMADURAS

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



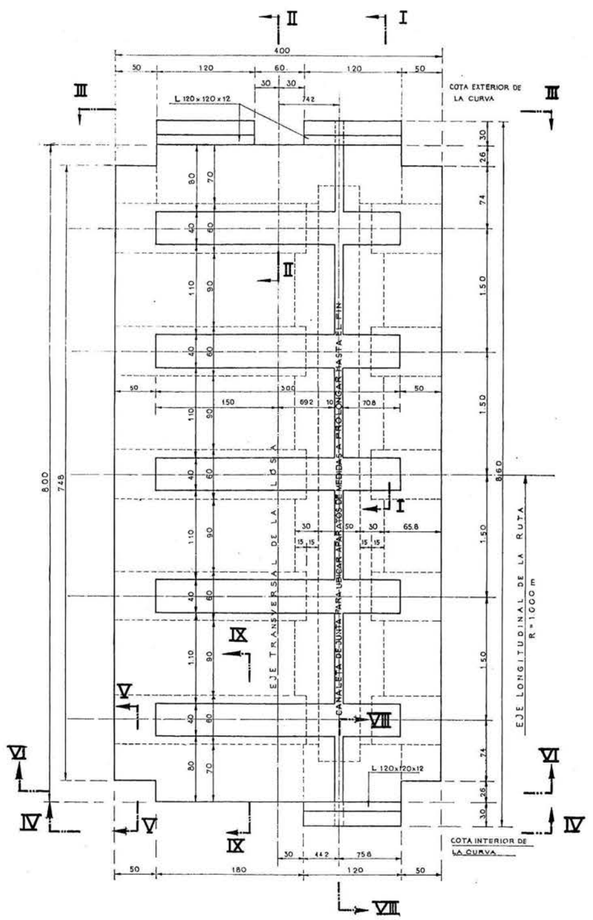
APOYO EXTREMO

ENCOFRADO

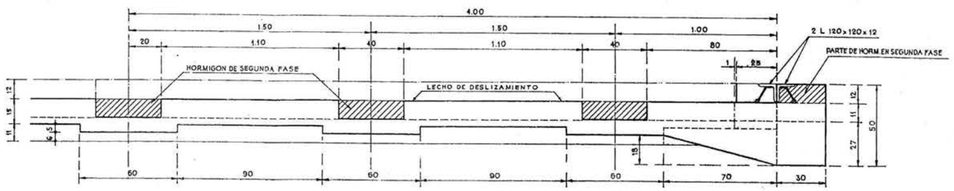
DOSAJE DE HORMIGON : 350 Kg/m³

plano VI

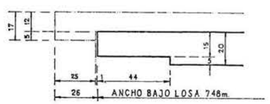
VISTA EN PLANTA BAJO LOSA



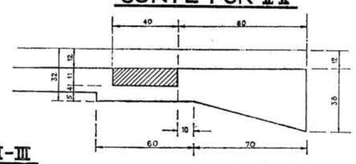
CORTE POR I-I



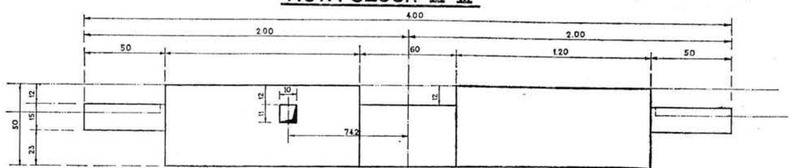
CORTE POR V-V



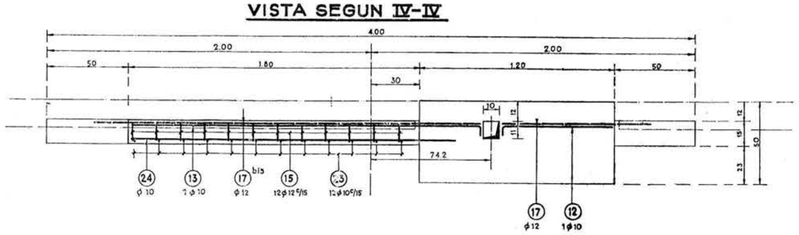
CORTE POR II-II



VISTA SEGUN III-III



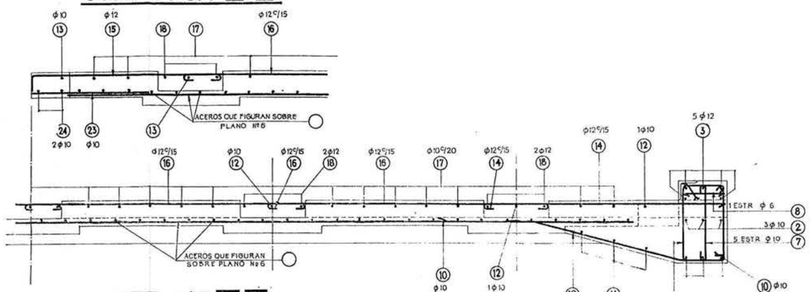
VISTA SEGUN IV-IV



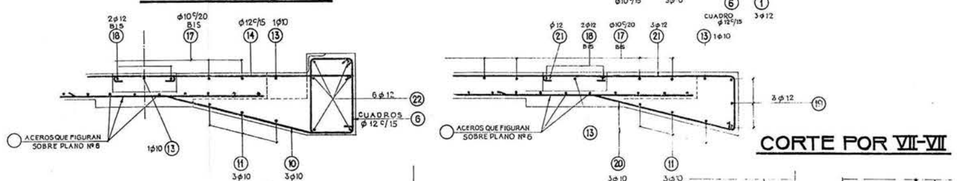
ESTRUCTURA BAJO LOSA PARA

SOPORTAR ESFUERZO PASIVO

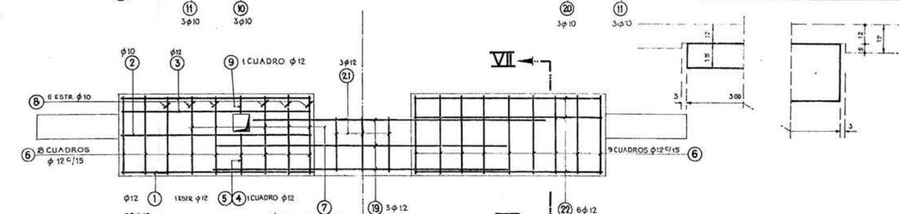
CORTE POR IX-IX



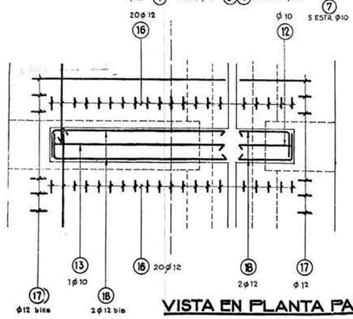
CORTE POR VII-VII



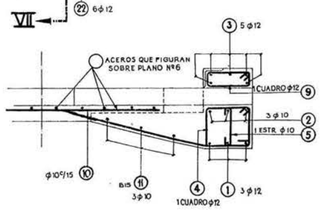
CORTE POR VII-VII



VISTA EN PLANTA PARCIAL



CORTE POR VIII-VIII



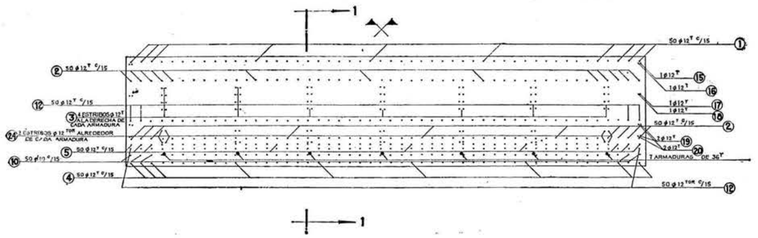
plano VIII

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

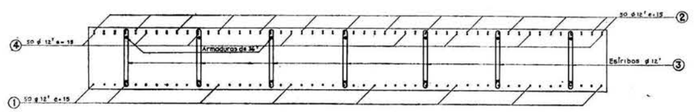
APOYO EXTREMO

ARMADURAS

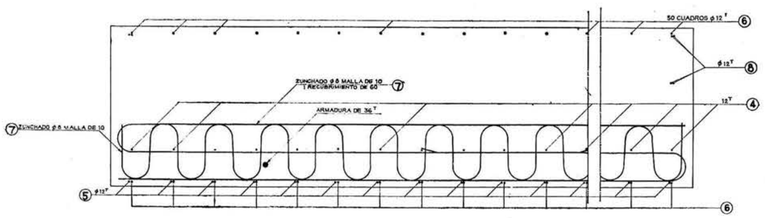
CORTE POR A.-A.-



CORTE POR B.-B.-

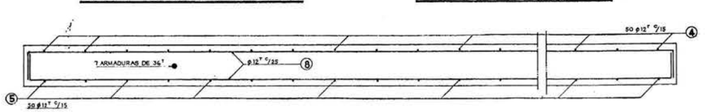


NERVADURA - CORTE POR C.-C.-



LOSA - CORTE POR D.-D.-

LOSA DE RODAMIENTO



plano VII

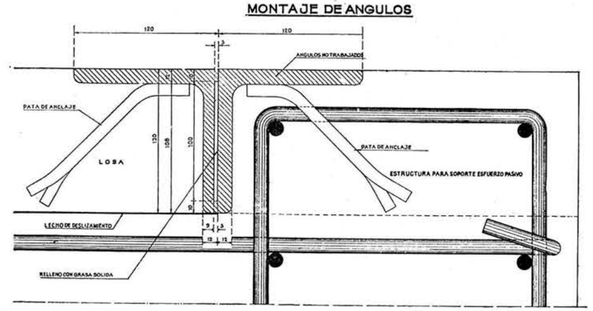
ANGULOS COSTADO LOSA (PIEZAS A TRABAJAR)



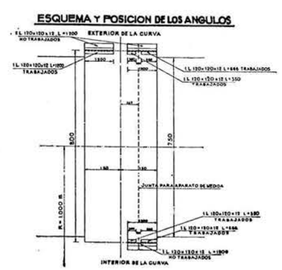
ANGULOS COSTADO JUNTA PARA APARATOS DE MEDIDA (PIEZAS A TRABAJAR)



MONTAJE DE ANGULOS



ESQUEMA Y POSICION DE LOS ANGULOS



NOMENCLATURA DE ANGULOS Y PATAS DE ANCLAJE

PARA UNA JUNTA

ANGULOS TRABAJADOS			ANGULOS NO TRABAJADOS			PATAS DE ANCLAJE	
CAR	DIMENSIONES	APROX CANT	DIMENSIONES	APROX CANT	DIMENSIONES	ANCHO	
1	120×120×12	1200	3	120×120×12	1200	95	50×10	170
2	150×120×12	666						
3	150×120×15	350						

PESO DE LOS ANGULOS = 4.650 x 27,350 = 167,300 — PESO DE LAS PATAS DE ANCLAJE = 12

ANGULOS ENTRE LA LOSA Y ESTRUCTURAS PARA SOPORTE ESFUERZO PASIVO CONJUNTO Y DETALLES

plano IX

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

457 - 3 - 8

nuevos intentos sobre cálculo del pretensado en obras hiperestáticas

Ing. P. COURTOT

(Tomado del «Bulletin Technique de la Suisse Romande», n.º 4, 1963.)

I. Introducción

El hormigón pretensado no cesa de probar su dinamismo, y su porvenir parece de lo más prometedor. En el plano técnico, constituye uno de los hechos sobresalientes de nuestra época.

Este desarrollo es, sin duda, demasiado rápido, como para no ir acompañado de un cierto empirismo en la elección de los métodos de dimensionamiento. Por esto, a veces se cometen algunas incorrecciones en los proyectos. Lo más corriente es que el cálculo sea válido, pero a expensas de un trabajo excesivo.

El presente estudio es un ensayo para sistematizar el cálculo de las obras pretensadas; en él se intenta atender a un doble fin: saber favorecer el empleo de datos constructivos lo más lógicos posibles, apoyándose en nociones tan simples como se pueda.

Nos alegraríamos si este artículo constituyese un estímulo real para profundizar en el estudio de vigas y pórticos pretensados, particularmente en el dominio de la construcción, donde este material está en condiciones de conquistar un vasto mercado.

II. Generalidades sobre el cálculo hiperestático

La noción fundamental de la estática plana es la de ELEMENTO, que se define, con relación a sus extremos, por medio de cuatro condiciones de elasticidad, es decir, un acortamiento, una distorsión y dos rotaciones en los extremos.

En el momento en que debemos reunir rígidamente o elásticamente todos los elementos entre sí, nos encontramos con dos métodos opuestos: los que utilizan, como materia bruta, el tramo sobre dos apoyos libres, y los que se sirven del tramo empotrado.

La segunda categoría presenta la ventaja de ser más sistemática y de llegar, según las necesidades, a métodos exactos o lo suficientemente aproximados (Cross).

Además, estos métodos se utilizan normalmente para la resolución del sistema hiperestático bajo esfuerzos unitarios, por lo que las cargas reales se aplican posteriormente a un sistema ya resuelto; es una ventaja inmensa.

Todas estas razones hacen que hayamos adoptado el tramo empotrado en los dos extremos como dato de partida del método propuesto en este artículo.

Se deduce que la resolución de nuestro sistema hiperestático llevará siempre consigo una operación de desbloquear los nudos, ya sea por relajación o por el método directo.

III. Efectos hiperestáticos del pretensado

El fin de este párrafo es llamar la atención sobre una particularidad del desbloqueado de los nudos en caso de esfuerzos debidos al pretensado. La importancia de esta cuestión es tal que debemos pararnos un momento.

Como se sabe, el pretensado es un sistema de fuerzas que llegan a una suma de dos efectos: la *fuerza de impacto*, *H*, aplicada en el extremo del tramo, y las *fuerzas de funicular*, aplicadas a lo largo del cable más o menos normalmente a éste (fig. 1).

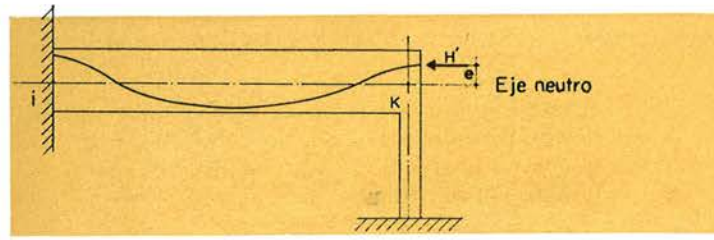


Fig. 1.—Fuerza de impacto y su momento en relación con el eje neutro.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

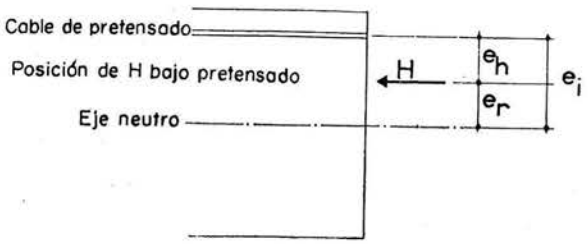


Fig. 2.—Efecto del pretensado solamente, en una sección de viga de un sistema hiperestático.

Es evidente que los nudos deben desbloquearse con relación al conjunto de estas fuerzas, es decir:

— primeramente, las fuerzas de funicular que se han encontrado estudiando el elemento empotrado;

— en segundo lugar, las fuerzas de impacto, en los nudos en que se producen.

Para tener esta idea bien clara, es necesario volver sobre la definición del momento de pretensado. Acordaremos usar los términos de *momento isostático*, *momento hiperestático* y *momento resultante*, siguiendo las indicaciones de la figura 2, con las definiciones siguientes:

$$\begin{aligned} M \text{ isostático} &= H \times e_i \\ M \text{ hiperestático} &= H \times e_h \\ M \text{ resultante} &= H \times e_r \end{aligned}$$

Con estas definiciones es claro que se puede escribir la suma de momentos aplicados al nudo, de dos maneras diferentes:

a) Se puede decir que el nudo soporta la suma del momento resultante del tramo bloqueado y del momento isostático, $M = H \times e_i$;

b) Se puede decir que el nudo soporta únicamente el momento hiperestático del tramo bloqueado, $M = H \times e_h$.

Escribiendo

$$H \times e_i - H \times e_r = H \times e_h$$

se constata la evidencia de que son dos maneras de decir la misma cosa.

Si insistimos sobre este punto es porque la primera manera de presentar los esfuerzos en el nudo es bastante menos extendida que la segunda, pero que, no obstante, nos parece más lógica.

También en las fórmulas que siguen, introduciremos preferentemente el momento resultante del pretensado, a reserva de no omitir el desbloquear el momento isostático de pretensado en el extremo del tramo.

Las personas que teman confundirse utilizando nuestro momento resultante, no tienen más que restar el momento isostático para volver a la noción conocida de momento hiperestático. El inconveniente es que procediendo de esta manera se sustrae una cantidad que es necesario introducir de nuevo en el cálculo de las tensiones, operación que va en contra del sentido común.

IV. Consideraciones sobre la forma del cableado (*)

El trazado de los cables debe ser habitualmente curvilíneo, y la curva cuyas ordenadas se calculan más cómodamente es, evidentemente, la parábola. Por tanto, el trazado debe ser una sucesión de arcos de parábola, a menos que haya razones imperiosas para proceder de otra forma.

Pero, al contrario, las otras razones aún actúan en favor de la parábola: en el tramo produce un efecto funicular prácticamente uniforme, que corresponde a la carga exterior también uniforme habitualmente. Sobre apoyos, el problema es obtener en una distancia dada una desviación máxima para una curvatura mínima: la parábola satisface esta condición.

Este trazado dará satisfacción a los constructores, los cuales saben que, en muchos de los casos, el cable debe volver a descender lo más rápidamente posible a una parte y otra de los apoyos, por culpa de lo cual se crea, en ciertas secciones vecinas a los apoyos, fuertes tracciones en fibra inferior en vacío.

En lo referente a la elección de los parámetros nos ha parecido necesario y suficiente tener tres,

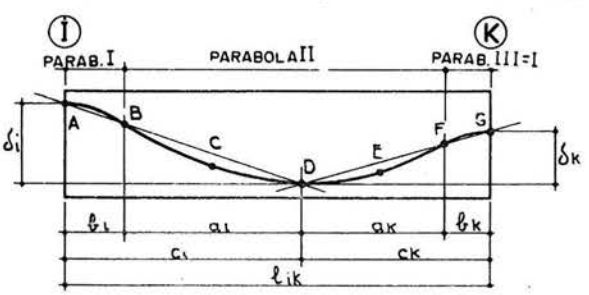


Fig. 3.—Trazado tipo: parámetros y puntos principales.

a saber: excentricidades en apoyos y en tramo (cuyas diferencias constituyen los parámetros δ_i y δ_k) y el parámetro que hemos llamado R_{ik} (ver figura 3):

$$R_{ik} = \frac{b_i + b_k}{l_{ik}}$$

(*) A este respecto nos parece indispensable precisar que las ordenadas de la curva se miden a partir de la recta ideal que une los nudos extremos del elemento y no a partir del eje neutro, que puede no ser rectilíneo.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Este parámetro tan interesante es igual a la longitud total de la zona cóncava hacia abajo, partida por la longitud del elemento. Esta razón puede variar habitualmente entre 0,05 y 0,20.

Es este parámetro el que juega el papel esencial frente al momento hiperestático de pretensado.

V. Propiedades particulares del trazado propuesto

— Las tangentes a la curva, sobre los apoyos, son paralelas al eje.

— Los parámetros son tales que el arco de parábola *BDF* es único y los arcos *AB* y *FG* tienen la misma curvatura.

VI. Proceso de cálculo para el trazado

A partir de los parámetros δ_i, δ_k y R, se procede de la manera siguiente:

a) *Cálculo de los valores de* λ.

En el proceso de cálculo se utilizan unos coeficientes, λ, que valen:

$$\lambda_i = \frac{\sqrt{\delta_i}}{\sqrt{\delta_i} + \sqrt{\delta_k}} \qquad \lambda_k = \frac{\sqrt{\delta_k}}{\sqrt{\delta_i} + \sqrt{\delta_k}}$$

(luego $\lambda_i = 1 - \lambda_k$).

b) *Situación de los puntos* B, D *y* F.

Sus abscisas se obtienen a partir de:

$$c_i = l \cdot \lambda_i \qquad c_k = l \cdot \lambda_k$$
$$b_i = R \quad c_i \qquad b_k = R \quad c_k$$

c) *Construcción de la curva* (ver fig. 4).

Esta se facilita mucho por el hecho de que:

— los puntos *A*, *B* y *D* están en línea recta, al igual que los *D*, *F* y *G*;

— las pendientes en *B* y *F* son dobles que las de las rectas *AD* y *DG*.

Las fórmulas que dan los radios de curvatura son:

$$\frac{1}{\rho_i} = \frac{2\delta_i}{Rc_i^2} = \frac{1}{\rho_k} = \frac{2\delta_k}{Rc_k^2}$$

$$\frac{1}{\rho_{ik}} = \frac{2\delta_i}{(1-R)\cdot c_i^2} = \frac{2\delta_k}{(1-R)\cdot c_k^2}$$

VII. Momentos debidos al pretensado

En este capítulo se considera únicamente las vigas en las cuales el esfuerzo, H, de pretensado es prácticamente uniforme a lo largo de la abscisa.

1. *Viga de sección constante.*

En este caso, el *momento resultante* (ver definición fig. 2) está dado por la expresión siguiente (en el punto I):

$$\frac{M_i}{H\delta_i} = 1 - (1+R)\left(1 - \frac{1}{6\lambda_i^2}\right) - R^2\frac{\lambda_k^4 - \lambda_i^4}{2\lambda_i^2}$$

Pero observando que en los casos prácticos habitualmente es

$$R < 0{,}15 \qquad \text{y} \qquad \lambda < 0{,}60$$

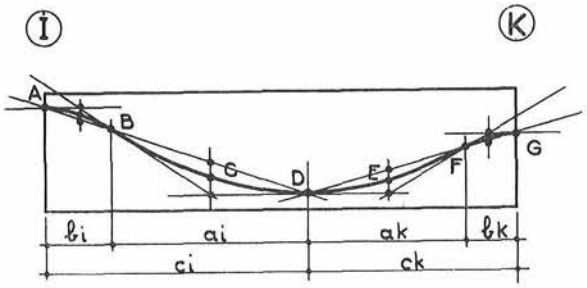


Fig. 4.—Trazado tipo: modo de construcción.

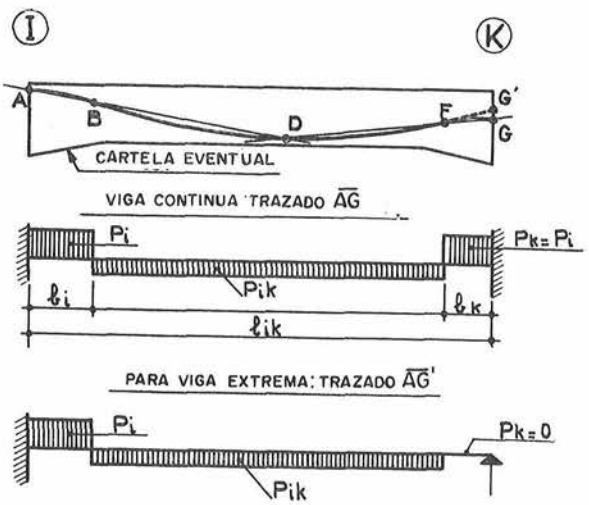


Fig. 5.—Trazado tipo: cargas ficticias equivalentes.

entonces, el tercer término del polinomio es menor que el 0,7 por 100 y, con este error, el valor es:

$$\frac{M_i}{H\delta_i} = 1 - (1+R)\left(1 - \frac{1}{6\lambda_i^2}\right)$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

En particular, si el trazado del cable es simétrico ($\lambda_i = 0{,}5$), se tiene:

$$\frac{M_i}{H\delta_i} = \frac{1}{3}(2 - R)$$

2. *Caso de viga de sección variable.*

En este caso no se puede dar, evidentemente, una fórmula adecuada a todos los casos imaginables de leyes de variación. Pero en uno y otro caso podemos servirnos de tablas ya publicadas (*), introduciendo unas cargas ficticias equivalentes a los efectos del cable.

Es una ventaja el hecho de que nuestro cable es equivalente a una carga muy simple, caracterizada por dos valores únicamente (ver fig. 5).

Esta carga ficticia vale:

$$P_i = \frac{2H\delta_i}{R \cdot c_i^2}$$

$$P_{ik} = \frac{2H\delta_i}{(1 - R) \cdot c_i^2}$$

Para la utilización racional de las tablas puede considerarse cargada uniformemente toda la viga con P_{ik}, superponiendo el caso de los extremos cargados uniformemente con:

$$(P_i - P_{ik}) = \frac{2H\delta_i}{R(1 - R) \cdot c_i^2}$$

VIII. Trazado concordante del cable

Se sabe que el trazado puede estudiarse de manera que el momento hiperestático sea igual a cero; es lo que M. Guyon ha llamado «trazado concordante». De las ecuaciones precedentes podemos sacar el valor del parámetro, R, para un trazado concordante:

$$R = \frac{\dfrac{1}{6\lambda_i^2} - \dfrac{e_i}{\delta_i}}{1 - \dfrac{1}{6\lambda_i^2}}$$

En esta fórmula, e_i es la excentricidad del cable con relación al eje neutro de la sección I.

(*) Por ejemplo, «Cálculo plástico de las construcciones de inercia variable», de Pierre Charon.

Si la viga es simétrica, queda reducida la fórmula a:

$$R = 2 - 3\frac{e}{\delta}$$

IX. Caso de viga extrema

En la práctica se podrá utilizar a menudo el trazado propuesto anteriormente; el hecho de que los cables tengan un trazado final horizontal produce un ligero aumento de las pérdidas por rozamiento, lo cual es un inconveniente, pero se compensa con la ventaja de una ejecución más simple (puesta de los anclajes).

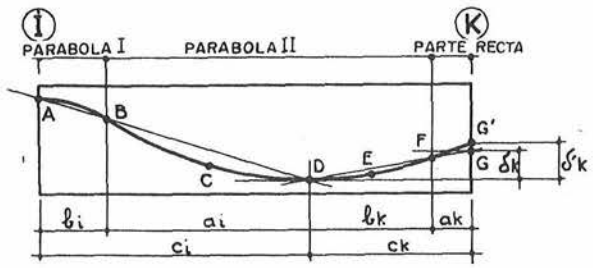


Fig. 6.—Trazado tipo: variante para tramo extremo.

A veces puede quererse que la salida de la viga sea oblicua. En este caso, proponemos la variante indicada en la figura 6.

En la práctica se parte del valor de δ'_k, que se supone dado.

Entonces se calcula el δ_k:

$$\delta_k = \frac{\delta'_k}{(1 + R)}$$

Toda la construcción se realiza por medio de los tres parámetros habituales, δ_i, δ_k y R.

Los *momentos resultantes* de la viga empotrada en los dos extremos se dan a continuación (aproximados hasta un 1 por 100):

$$\frac{M_i}{H\delta_i} = 1 - (1 + R)\left(1 - \frac{1}{6\lambda_i^2}\right) \quad \text{(invariable)}$$

$$\frac{M_k}{H\delta_k} = (1 + R)\frac{1}{6\lambda_k^2} \quad \text{o} \quad \frac{M_k}{H\delta'_k} = \frac{1}{6\lambda_k^2}$$

Si este nudo k está empotrado elásticamente, se le desbloqueará en función de los datos del

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

sistema hiperestático. Si tiene permitida la rotación, se le desbloquea transmitiendo al punto I la mitad de M_k.

En el caso de una viga con momento de inercia variable, se utilizará la carga ficticia según la figura 5.

X. Cableado con parte recta

Para terminar daremos ahora las características de un trazado que comprende una parte recta en el tramo (fig. 7).

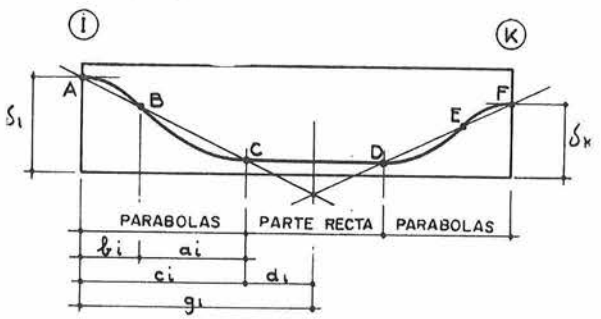


Fig. 7.—Trazado tipo con parte recta.

Aun siendo, en principio, menos racional que los trazados precedentes para el caso de carga uniforme, puede estar indicado en diversos casos de cargas concentradas; igualmente permite descender más rápidamente de uno y otro apoyo, lo cual puede quererse en ciertos casos.

Necesita de otro parámetro suplementario, designado por Q, que vale:

$$Q = \frac{c_i + c_k}{e} = \frac{\text{parte parabólica}}{\text{luz total}}$$

De modo análogo al de los casos precedentes, las abscisas de los puntos característicos se obtienen a partir de:

$$g_i = e \cdot d_i \qquad g_k = e \cdot d_k$$
$$c_i = Q \cdot g_i \qquad c_k = Q \cdot g_k$$
$$b_i = R \cdot c_i \qquad b_k = R \cdot c_k$$

Es de observar que, gracias a la elección de los parámetros, las expresiones de las curvaturas y de las cargas ficticias son las mismas que las dadas anteriormente (párrafos VI y IX).

Teniendo en cuenta la introducción del parámetro Q, y despreciando igual que antes los términos en R de grado superior a 1 (aproximación al 1 por 100), se pueden escribir las fórmulas de los momentos resultantes como sigue:

1. Curvatura en AB:

$$\frac{M_i}{H\delta_i} = 1 - Q(1+R)\left[1 - \frac{1}{6\lambda_i^2} - (1-Q)\frac{\lambda_k^4 - \lambda_i^4}{2\lambda_i^2}\right]$$

2. Parte recta en AB:

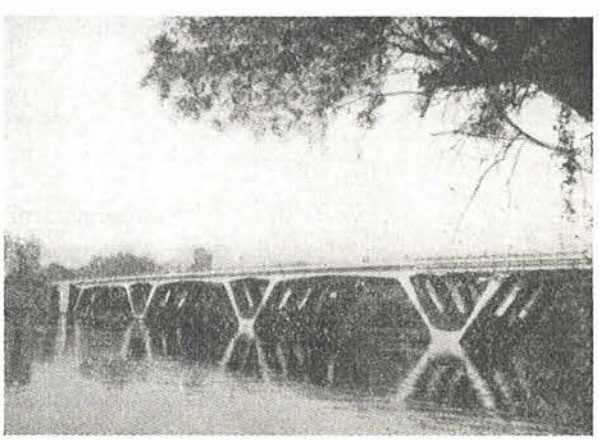
$$\frac{M_i}{H\delta_i} = (1+R) - Q(1+R)\left[1 - \frac{1}{6\lambda_i^2} - (1-Q)\frac{\lambda_k^4 - \lambda_i^4}{2\lambda_i^2}\right]$$

XI. Conclusiones

Puede constatarse que el método propuesto es de utilización fácil y esperamos que sea utilizado con éxito en las diversas oficinas de proyectos.

La cuestión de las pérdidas de tensión por rozamiento a lo largo de la vaina no ha sido abordada, pues normalmente su importancia no será determinante; bastará con adoptar un valor medio. En caso de necesidad, puede tenerse en cuenta de manera bastante precisa superponiendo a nuestras cargas ficticias una carga ficticia secundaria que prácticamente se reducirá a una carga triangular.

En nuestra profesión se dice que «el mejor método es el que se conoce bien»; desde este punto de vista, el que proponemos tendría que parecer malo al principio. Sin embargo, bastará, sin duda, con algunas aplicaciones... para hacerle parecer menos malo; al menos así lo esperamos.



Ejemplo de obra pretensada hiperestática: el puente St. Michel en Toulouse (Estudio S. T. U. P.).

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

XI reunión del consejo administrativo de la F. I. P.

En el mes de enero de 1964 se reunirá en la Cement and Concrete Association's Conference and Training Centre, Wexham Springs, Slough, Buckinghamshire. Simultáneamente se tendrá el primer simposio sobre «Aplicación del hormigón pretensado a cimentaciones de estructuras para maquinaria».

El programa preparado es el siguiente:

viernes, 10 enero

10,00 h. Comisión del hormigón pretensado ligero.

14,30 h. Comisión de prefabricación.

lunes, 13 enero

10,00 h. Comisión sobre métodos de obtención de hormigón de alta resistencia.

14,30 h. Comité «ad-hoc» sobre aplicación del hormigón pretensado a cimentaciones de estructuras para maquinaria.

martes, 14 enero

9,15 h. Simposio sobre aplicación del hormigón pretensado a cimentaciones de estructuras para maquinaria.

miércoles, 15 enero

9,15 h. Continúa el Simposio.

jueves, 16 enero

9,30 h. Comité «ad-hoc» sobre aplicación del hormigón pretensado a cimentaciones de estructuras para maquinaria.

11,15 h. Comité ejecutivo de la F. I. P.

14,30 h. Consejo de Administración de la F. I. P.

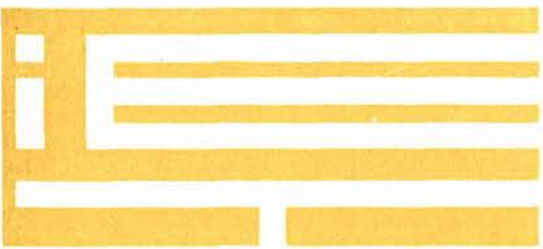
17,30 h. Reunión general anual del British Prestressed Concrete Development group, seguida de una cena a la que están invitados los delegados extranjeros.

viernes, 17 enero Comisión FIP-CEB para una «Norma internacional para el hormigón pretensado».

sábado 18 enero Continúan las reuniones de la Comisión FIP-CEB.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



instituto
eduardo torroja
de la construcción
y del cemento

A. G. MAG, S. L. - Madrid - 21852

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026