ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

hormigón pretensado

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
BIBLIOTECA
INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

BOLETIN NUM. 45 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
BIBLIOTECA
INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

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 45

Julio-Agosto 1958

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Q

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
BIBLIOTECA
INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

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 45

Julio-Agosto 1958

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

I N D I C E

		pág.
591-7-4	- La viga "Preflex".- Por: L. Baes y A. Lipski . . .	1
837-4-8	- Procedimientos empleados en Rusia para la prefabricación de elementos de hormigón pretensado.- Por: W.W. Michailow	34

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.

- Depósito Legal: M - 853 - 1958 -

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

591-7-4 LA VIGA "PREFLEX" : Por : L. Baes y A. Lipski

I.- CARACTER GENERAL.

La viga "Preflex" es una viga metálica, de acero de calida preferente, recta o no, recubierta de hormigón, en dos fases, para lo grar una fuerte precompresión del hormigón en la primera fase, hormigó que a la aplicación de cargas tiende a excitar la tracción. La primer fase del recubrimiento es ejecutada después que la viga metálica se h deformado fuertemente por las cargas transversales. Al quitar posterio mente estas cargas transversales, se asegura la precompresión del horm gón de la primera fase.

La segunda fase del recubrimiento se ejecuta seguidamente sin que existan ya las cargas transversales.

II.- FINES PERSEGUIDOS.

De una parte -para una misma sección del mismo peso y altu ra, obtener una gran seguridad contra la fisuración del hormigón y reve timiento del lado convexo y, al mismo tiempo, aumentar fuertemente la r gidez de la viga. Para ello se utiliza un acero semiduro (A. 52), que a menta fuertemente la carga admisible. De otra parte y en reciprocidad de lo que procede:

a igual seguridad contra la fisuración del hormigón,
a igual rigidez de impuesta,
a igual carga de servicio,
obtener una viga de altura total mínima,
un peso mínimo y una economía general máxima.

III.- INTRODUCCION.

En todo problema de construcción basado en el empleo de v gas de armadura previamente deformada en su trazado por esfuerzos ind

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

pendientes, es preciso que cada viga satisfaga, especial y simultáneamente, las diversas condiciones siguientes:

A cada una de estas condiciones corresponde, para una distribución determinada de la carga total, un valor de la carga límite, más allá del cual la condición deja de ser satisfecha.

El constructor debe asegurarse con relación a estas cargas límites con un coeficiente o margen de seguridad adecuado μ; estos coeficientes deben ser elegidos con gran circunspección.

El valor obtenido dividiendo la carga límite por el coeficiente de seguridad correspondiente da la carga límite crítica:

Carga límite crítica $B = \frac{F_{últ}}{\mu}$.

El valor límite de las cargas admitidas constituye evidentemente la carga normal admisible, F admitida, teniendo en cuenta todas las condiciones que deben satisfacer.

Estas condiciones son las siguientes:

X— Condiciones relativas a los peligros de pérdida eventual de resistencia de la pieza:

1. Condición de seguridad contra la ruptura o contra la carga límite a partir de la cual la pieza será deformada de manera que no se pueda recuperar.
2. Condición de seguridad contra el descubrimiento lateral por pandeo del conjunto de la parte metálica, por bombeo o plaqueado de las partes comprimidas de un ala, plata-banda o alma.
3. Condición de seguridad contra la ruptura propiamente dicha o eventual contra las degradaciones locales por fatiga.

Este caso no debe considerarse más que en algunos tipos de construcción y cuando en número de repeticiones nocivas es grande por lo que no será tomado en consideración.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

β— Condiciones relativas a las circunstancias de trabajo de la viga.

5. Seguridad contra la posibilidad de rebasar el límite de elasticidad real o convencional, a partir del cual las deformaciones permanentes no cesarían de agravarse.

6. Condición de rigidez suficiente del conjunto, dando, por ejemplo, el valor del límite superior de la relación de la flecha a la luz, rigidez relativa, o también por un valor límite superior de la flecha absoluta.

7. Condición de seguridad suficiente contra toda degradación pequeña, que, no poniendo necesariamente la pieza en peligro, la hace, en principio, técnicamente inaceptable, aunque no sea sino desde el punto de vista estético o riesgo de corrosión acelerada (p.e., fisuración del hormigón, en tal caso la degradación es señal de una importante pérdida de rigidez cuyas consecuencias están lejos de ser pequeñas).

En todas estas condiciones, que se cubren en principio por coeficientes o márgenes de seguridad, es preciso ajustar las exigencias relativas:

a el aspecto de las obras y concretamente a sus proporciones.
a un aumento de altura límite,
a un mínimo de peso, y
a una economía global máxima, teniendo en cuenta todos los elementos auxiliares que afectan al problema, tales como
coste de materias,
supresión de elementos auxiliares costosos,
cimentaciones,
pendientes de vías de acceso,
longitud de estas pendientes, etc.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

En general existen, en un problema de viga de trazado deformado, hecha abstracción de las excepciones 3 y 4, cinco cargas - límite, de las cuales la más pequeña será la carga total de trabajo, B^1, que desde el punto de vista de ruptura o carga límite será:

$$\frac{\text{Carga de ruptura}}{\mu^1 \text{ (máximo)}};$$

B^2, desde el punto de vista del descubrimiento lateral es:

$$\frac{\text{Carga de descubrimiento lateral}}{\mu^2 \text{ (descubrimiento)}};$$

B^5, teniendo en cuenta la elasticidad de:

$$\frac{\text{Carga rebasando el límite de elasticidad}}{\mu^3 \text{ (elasticidad)}};$$

B^6, de rigidez relativa esbeltez =

= Carga que haga alcanzar el límite de f/l;

$B^{6'}$, de rigidez absoluta temporal =

= Carga que alcance el límite de f, y

B^7, de degradación, representada por:

$$\frac{\text{Cargas de degradación}}{\mu^7 \text{ (degradación)}}$$

VIGAS DE ACERO SIN RECUBRIR DE HORMIGON.

En estas vigas las características relativas que entran principalmente en juego según su propia materia son:

Para la carga-límite B^1, la tensión de ruptura del acero a la tracción R_{ar}.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Para la carga-límite B^2, la tensión límite de elasticidad a la tracción y a la compresión R_{ar} y el módulo de elasticidad longitudinal E_a.

Para la carga-límite B^5, la tensión límite de elasticidad R_{ab}.

Para la carga-límite B^6 y $B^{6'}$, el módulo de elasticidad longitudinal E_a.

CASO DE ACERO DULCE ORDINARIO A. 37.

La carga límite B^1 relativa a la ruptura es hoy superior a la carga-barrera B^2 relativa al descubrimiento lateral y a B^6 y $B^{6'}$, relativas a la rigidez.

La carga-límite B^2 será a menudo determinante, pero ella puede ser afortunadamente fuertemente aumentada gracias al empleo de tirantes, elementos de arriostramiento contra el viento y otros arriostramientos especiales.

Siguen siempre en vigor, para las vigas de trazado deformado de armadura A. 37, las cargas-límite B^5, relativas al exceso del límite de elasticidad y B^6 o $B^{6'}$ relativas a la de rigidez.

Casi siempre, y cuando el espacio disponible para la altura es bastante limitado, la carga-límite B^6 o $B^{6'}$, de rigidez, es bastante determinante, si no son mayores que la resistencia que ofrece el acero A.37, lo cual supondría un gran inconveniente.

CASO DE ACERO SEMI-DURO A. 52

Es interesante dar un pequeño cuadro comparativo entre algunas características de los aceros A.37 y A.52:

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

DESIGNACION	A. 37	A. 52
Límite aparente de elasticidad R_{ae} (mínimo)	24 kg/mm^2	36 kg/mm^2
Tensión convencional de ruptura por tracción R_{ar} (mínimo)	37 kg/mm^2	52 kg/mm^2
Dilatación de ruptura sobre 10 d. (valores correspondientes a R_{ar} mínimo)	25,2 %	21,2 %
Módulo de elasticidad longitudinal E_a (medio)	21.000 kg/mm^2	21.000 kg/mm^2

El límite aparente de elasticidad es un 50% superior en el acero A.52, pero el módulo de elasticidad E_a es apenas diferente.

Se ve pues que para el acero A.52, la carga-límite B^5 de elasticidad es aumentada un 50 %. La carga-límite B^2, que afecta al desconchado o descubrimiento, no aumenta en algunas piezas y relativamente poco en otras, dependiendo de la longitud o de la parte de la pieza; pero lo grave es que las cargas límites teniendo en cuenta la rigidez B^6 o $B^{6'}$ no son modificadas a causa de la invariabilidad de E_a. Por lo tanto es muy frecuente que para el acero A.37, la carga de trabajo venga determinada por la carga-límite de rigidez.

En este caso, no se obtiene pues ninguna ventaja del suplemento importante de resistencia del acero, si se trata concretamente de las viguetas.

VIGAS DE ACERO RECUBIERTAS DE HORMIGON, PERO SIN REFLEXION.-

Estudiando bien el recubrimiento se puede casi eliminar el problema del descubrimiento lateral correspondiente a B^2 y aumentar muy eficazmente las cargas-límite correspondientes a la rigidez B^6 o $B^{6'}$.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Pero surge entonces especialmente la condición relativa a las "degradaciones menores que aparecen con la carga B^7, que no intervenían en las viguetas sin recubrir.

La degradación menor relativa a las vigas recubiertas ordinarias es la fisuración del hormigón del ala inferior (lado convexo), ya que es frecuente no se recubra. Esta forma de operar hace perder una posibilidad interesante de rigidez y puede tener otros inconvenientes.

La fisuración del hormigón del ala convexa es la condición hasta ahora que frena gravemente el interés del empleo de vigas recubiertas. Esto, a pesar que se emplea una seguridad contra la fisuración muy débil, si no inexistente, se tolera una tensión para el acero del ala afectada de 12 kg/mm^2, mientras que si el ala no estuviera recubierta se toleraría una carga de 14 kg/mm^2 para el acero A.37.

Por tanto, resulta imposible sacar partido de la resistencia mayor del acero A.52.

Como consecuencia haremos resaltar que es también un gran inconveniente para aprovechar las resistencias elevadas a la compresión de buenos hormigones, debido a las fuertes secciones de acero que serían necesarias, como ocurre en el hormigón armado ordinario, donde no es apenas posible, prácticamente, hacer trabajar el hormigón aproximadamente a más de $R_b' = 80$ kg/cm^2, mientras que el acero trabaja cuando $R_a = 12$ kg/mm^2.

IV. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES RELATIVOS A LAS VIGAS RECUBIERTAS "PREFLEX".

Las vigas "Preflex" están llamadas a corregir las insuficiencias inherentes a las viguetas no recubiertas, así como las de las

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

viguetas sin deformación del trazado de armaduras. Estas vigas permitirían utilizar toda la zona de resistencia de los aceros, tales como los A. 52 o superior, asociados a los hormigones de alta calidad, como lo demuestran los diagramas obtenidos en los ensayos.

Con relación a una misma viga metálica recubierta, en la que no se han desviado las armaduras: la carga relativa a la ruptura o carga B^1 no se modifica apenas; la cuestión del descubrimiento lateral no se plantea ni en uno ni en el otro tipo de carga (B^2), las cargas-límite relativas a las B^6 y $B^{6'}$ de rigidez aumentan considerablemente; la carga-límite relativa a la elasticidad (B^5), aumenta mucho; la carga-límite correspondiente a las degradaciones menores B^7 (de fisuración), es considerablemente aumentada y completamente justificado el interés del empleo de viguetas de acero A.52 en lugar del A.37, e incluso de aceros más resistentes.

El sistema aparece pues lleno de interés y de promesas.

La descripción misma del proceso de fabricación de las vigas "Preflex" hace rápidamente comprender que las ventajas anunciadas son reales.

FASES DE FABRICACION:

Fase I: PREFLEXION Y FIJACION

Una viga metálica de acero de calidad (A.52 p.e.) es sometida a una flexión originada por cargas transversales equivalentes a las cargas de trabajo previstas y del mismo sentido en el que han de trabajar.

Las flechas creadas en la viga así sometida a flexión son evidentemente muy importantes, y, puesto que la viga no está aún recubierta de hormigón, pueden alcanzar valores del orden de 15/1.000 de la luz.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Esto no es posible más que cuando el acero presenta un límite de elasticidad bastante elevado (caso del acero A.52).

La viga metálica se mantiene en su posición deformada por medio de un procedimiento adecuado.

Fase II: HORMIGONADO DE UNA CAPA QUE CUBRE TODA LA PARTE EXTERNA DE LA VIGA MANTENIDA, FORMANDO LA FLECHA PREVISTA.

Esta capa recubre, en general, toda la zona sometida a tracción y la parte contigua del alma. Este hormigón debe ser de alta calidad, ya que ha de resistir las tensiones de compresión a que se halla sometido durante un cierto tiempo, y después, gracias a su calidad, contribuirá seriamente a aumentar la rigidez de la viga terminada. Este hormigón se colocará en la viga en muy buenas condiciones y estado de conservación, sometiéndolo a una acción vibrante de su encofrado o bien directamente sobre la viga metálica, con objeto de disminuir la retracción. Para asegurar la adherencia al metal, la superficie de éste presenta algunos salientes adecuadamente fijados en lugares apropiados. Este hormigón se trata después siguiendo los métodos ordinarios de curado.

Fase III: LIBERACION DEL ESFUERZO QUE RETENIA LA VIGA EN ESTADO DEFORMADO.

Esta fase, se ejecuta cuando el endurecimiento del hormigón es suficiente. En este momento, si el hormigón no existiera, la parte de viga metálica recobraría la forma inicial, pero ahora es el hormigón quien se opone a que la estructura metálica vuelva a su posición original.

Por tanto se establece un nuevo estado de equilibrio que comprende:

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

1. Mantener en el ala recubierta aproximadamente los 2/3 de la tensión máxima de tracción que había creado la fase I.
2. Mantener alrededor de la mitad de la flecha creada en la fase I.
3. Crear en la capa de hormigón tensiones importantes de compresión, logrando así que el hormigón se halle en estado de precompresión.

Esta fase es la terminación de la fabricación de la viga "Preflex" propiamente dicha.

La viga puede ser transportada en este estado, colocada en su emplazamiento definitivo y ser cargada.

Si la viga es utilizada tal como sale del taller, es evidente que al aplicarla las cargas máximas de trabajo experimentará las reacciones siguientes:

1. Las tensiones de tracción en el metal aumentarán desde los 2/3 hasta el esfuerzo total a que se le ha sometido al deformarla en el taller, resultando así sólo los 2/3 las tensiones de preflexión, hasta su totalidad—después la variación será de 1/3, solamente.

2. La flecha aumentará a partir de la correspondiente al final de la fabricación, alcanzando después la flecha máxima que tenía al deformarla originalmente, es decir, que las cargas de trabajo no han modificado la flecha más que la mitad de la que resultó en la fase I.

3. La sección de hormigón que recubre la parte metálica irá perdiendo el esfuerzo de compresión de que disponía al salir del taller hasta llegar a una tensión nula y, por ello, evitar que se pueda producir la fisuración.

Así, pues, se ha eliminado la posibilidad de grietas, y la flecha se ha atenuado.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Fase IV: TERMINACION DEL RECUBRIMIENTO.

En general, la fase III no es la final; existe una cuarta fa se que consiste en la terminación del recubrimiento del alma y de la segunda capa de hormigón correspondiente al lado cóncavo. A esta parte del revestimiento de hormigón, le afecta mucho la disposición del proyecto, ya que esta parte de hormigón puede ser utilizada para formar el tablero o un entramado de apoyo o arriostramiento.

El hormigón de esta zona será colocado con gran cuidado, y si es bueno, aumentará considerablemente el módulo y el momento de inercia de la sección final de la viga.

De ello resulta una fortísima disminución de las flechas bajo el efecto de las cargas de trabajo, si se comparan con las que experimenta una viga de la misma sección recubierta de una sola vez y sin preflexión. También se consigue una buena seguridad contra la fisuración en la cabeza convexa de la viga. Estos fenómenos se analizan en la descripción de los resultados de los ensayos efectuados en Marzo-Mayo- Junio de 1951 que se adjuntan.

La finalidad perseguida se ha conseguido.

Los problemas planteados se han resuelto convenientemente se aconseja el empleo de aceros de calidad, por presentar característic apropiadas.

Todas las insuficiencias concernientes a las vigas recubiertas o no, relativas a la rigidez, peligro de fisuración, reducidas carg de trabajo admisibles, se han vencido completamente empleando las vig "Preflex".

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

V.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS COMPARATIVOS EFECTUADOS SOBRE UNA VIGUETA RECUBIERTA, PERO NO DEFORMADA POR ESFUERZOS EXTERIORES, TOMADA COMO TIPO, Y SOBRE OTRA VIGUETA RECUBIERTA, EN IDENTICA DISPOSICION, PERO FABRICADA SIGUIENDO EL PROCESO "PREFLEX".

A. ENSAYOS ANTERIORES AL 24 DE MAYO DE 1951

I.- La "viga tipo" sin deformación previa (figs. 1 y 2).

I.-1) Este elemento está constituído por una vigueta "Grey", perfil D.I.E. 26 de 11 m de luz, recubierta de hormigón siguiendo los procedimientos habituales. El revestimiento ha sido efectuado en dos fases: en la primera se hormigonó la cabeza inferior; y en la segunda, el alma y la cabeza superior. Gracias a ello el hormigón más expuesto a la fisuración (la cabeza inferior), ha sido colocado en condiciones excepcionalmente favorables.

I.-2) El acero de estas viguetas, llamado A. 52, ha dado en el ensayo clásico de tracción simple, utilizando probetas obtenidas de las cabezas, y según el sentido del laminado, los resultados siguientes:

Límite aparente de elasticidad (límite inferior):

$R_e = 37,46$ kg/mm^2.

Tensión convencional de ruptura:

$R_r = 53,30$ kg/mm^2.

Tensión media en el instante de ruptura, en la sección estriccionada:

$R_z = 107,65$ kg/mm^2.

El alargamiento después de ruptura, sobre 100 mm: $\lambda_r = 30,15\%$.

La estricción = 63, 40 %.

Módulo de elasticidad: $E_a = 20,500$ kg/mm^2.

Módulo de elasticidad es, pues, el mismo orden que el del acero A. 37.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

I.- 3) El hormigón, puesto en obra, ha dado, en los ensayos clásicos, altas resistencias:

El 19 de Marzo de 1951, las probetas cúbicas de 20 cm han sido ensayadas a compresión, dando los resultados siguientes:

Hormigón de la cabeza inferior a los 72 días = 680 kg/cm^2.
Hormigón de la cabeza superior a los 61 días = 728 kg/cm^2.

El módulo de elasticidad del hormigón en el momento del ensayo de esta viga (19 Marzo 1951), calculado según la flecha medida (sin efecto de fluencia), fué:

$$E_b = 591.000 \ kg/cm^2, \text{ de donde: } m = \frac{E_a}{E_b} = 3,47.$$

I.- 4) Carga de trabajo.

La carga de trabajo se ha calculado siguiendo el método aplicado a las vigas recubiertas. (A.B.S.- Publicación nº 13-1937), despreciando el efecto del hormigón a tracción y atribuyendo a m el valor clásico 15 y adoptando como tensión de tracción en la cabeza inferior de la vigueta 12 kg/mm^2. Se sabe que esta tensión es bastante débil en consideración al peligro de fisuración del hormigón que recubra la cabeza inferior. Se ha comprobado que en el caso ordinario de viguetas recubiertas no se obtiene ninguna ventaja de emplear el acero A.53 de preferencia al A.37.

El esfuerzo <u>total</u> de trabajo calculado es de 7.560 kg. Teniendo en cuenta la presencia del peso propio de 4.560 kg, la <u>sobrecarga</u> autorizada es F_u = 3.000 kilos.

I.- 5) Primer ensayo de la viga tipo.

Esta viga ha sido sometida a un primer ensayo el 19 de Marzo de 1951. El ensayo de carga se realizó por medio de dos gatos hidráulicos, bajo los cuales se colocaron los dinamómetros de deformación elástica.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Los gatos creaban dos cargas locales situadas ($2 \times P_v$) simétricamente y a igual distancia de los apoyos, es decir, a 1/4 de la luz.

En estas condiciones, los esfuerzos de torsión máxima (fig.1) y los momentos de flexión máxima son los mismos que si la carga total $2 P_v$ fuera uniformemente repartida, y la flecha f en el medio de la viga es un 10% superior a la que produciría la misma carga, pero uniformemente repartida.

I.- 6) Rigidez.

La rigidez medida a lo largo del ensayo fué de $\rho_o = \frac{2P_v}{f}$ = 0,612 t/mm de flecha.

La flecha bajo la carga útil de trabajo ha alcanzado el valor de $f = \frac{F\mu}{0,612} = \frac{3}{0,612} = 4,9$ mm

($2P_a$ es el peso de los gatos, de los dinamómetros y de los accesorios).

I.- 7) Primera fisuración del hormigón de la cabeza inferior.

Las primeras fisuras se han producido muy claramente antes de que fuera alcanzada la carga de trabajo. Las fisuras se han producido al llegar a los 6.290 kg (peso muerto comprendido), es decir, al 83% solamente de la carga total de trabajo, de modo que solamente se llegó al 58% de la carga útil de trabajo en este momento.

Las fisuras en cuestión no se cerraron al disminuir la carga 1.000 kg. Por el contrario, al volver a insistir con la misma carga aparecieron 10 nuevas fisuras que permanecieron visibles después de levantar la sobrecarga (ver parte izquierda de fig. 4).

I.- 8) Continuación del ensayo del 19 de Marzo de 1951.

El ensayo ha sido proseguido hasta lograr una carga útil muy poco superior a la correspondiente a la de trabajo F_u.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

I.- 9) Después de suprimir la carga total, se ha comprobado que, al cabo de 45 minutos de espera, las 11 fisuras se habían producido en el hormigón pretensado de la cabeza inferior.

Estas fisuras ya no se cerraron posteriormente, y se mantuvieron claramente visibles, quedando en el hormigón con carácter permanente.

I.- 10) Conclusión importante:

El peligro de fisuración del hormigón de la cabeza inferior de la viga no predeformada es manifiesto.

La carga límite B^7 de fisuración es claramente inferior a la carga de trabajo prevista, y su efecto es determinante.

I.- 11) Observación.

La viga tipo no había sido cargada por mucho tiempo (una veintena de minutos), y la carga máxima no rebasó apenas la carga de trabajo prevista.

La viga no se forzó, por lo que debía ser considerada en los ensayos ulteriores como prácticamente apta.

II. LA VIGA "PREFLEX" (FIGS. 1 y 3)

II.- 1) Desde el punto de vista de sus dimensiones y del material utilizado, esta viga es idéntica a la viga tipo, salvo una ligera diferencia en lo que concierne a las pequeñas armaduras redondas y la presencia de pequeños topes soldados en la viga que sirven de seguridad contra el deslizamiento del hormigón. Los ensayos de resistencia de las probetas cúbicas de hormigón de la misma edad que la rotura dieron cargas de 577 y 618 kg/cm^2, es decir, inferiores a los correspondientes al hormigón de la viga tipo, que dieron 680 y 728 kg/cm^2.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

II.- 2) Las fases de fabricación fueron las siguientes:

a) Preflexión de la vigueta desnuda, hasta llegar a una de 139 mm por medio de dos cargas 2 x P_v, creando en la sección media una tensión de tracción de 28,20 kg/mm^2.

Esta preflexión debe ser calificada de "sobreabundante" si se considera que hubiera bastado llegar a 12 kg/mm^2 para poder resistir, una vez en carga, hasta 24 kg/mm^2 con la misma seguridad, respecto a la fisuración, que la de la viga tipo trabajando a 12 kg/mm^2. La rigidez comprobada en la vigueta desnuda fué de:

$$P_1 = \frac{2\,P_v}{f} = 0{,}112 \text{ t/mm de flecha.}$$

b) Recubrimiento de la cabeza inferior trabajando a tracción con hormigón de buena calidad.

c) Liberación parcial de los esfuerzos de deformación originales después del endurecimiento del hormigón.

La liberación de esfuerzos es parcial debido a la presencia del hormigón en la cabeza inferior, puesto que éste se encuentra ya trabajando a compresión.

En este caso quedó una flecha permanente de 74 mm después de la liberación de esfuerzos de deformación o preflexión.

Durante los 22 primeros días y siguientes a la libración de los esfuerzos de deformación se ha podido comprobar solamente una disminución suplementaria de la flecha de 9 mm, pasando de 74 a 65 mm después de lo cual la flecha se estabilizó permaneciendo sin cambio alguno

Los cálculos han mostrado que en este momento en la cabeza recubierta la rigidez era de:

$$P_2 = \frac{2\,P_v}{f} = 0{,}205 \text{ t/mm de flecha, y que la tensión máxima de pre-}$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

compresión en el hormigón de la cabeza inferior, en el mismo momento, era importante. Es interesante anotar que esta precompresión ha sido mantenida durante 90 días (los 22 primeros días inclusive).

d) Recubrimiento del alma y de la cabeza superior de la vigueta.

Este recubrimiento ha sido efectuado en la viga quedando la forma que ella había adquirido después de su liberación de esfuerzos exteriores (3).

II.- 3) La carga útil de trabajo, que rebasa la del peso propio, calculada suponiendo que la tensión en la cabeza inferior de la vigueta alcanza 24 kg/mm^2, y teniendo en cuenta el efecto de la preflexión y del recubrimiento, es de F_u = 10.000 kg.

II.- 4) Primer ensayo de la viga "Preflex".

Terminada la viga y después de haber endurecido el hormigón del alma y de la cabeza superior, se sometió, el 19 de Marzo de 1951, a un primer ensayo.

En este momento:

— el hormigón de la cabeza inferior dió, sobre probetas cúbicas 577 kg/cm^2, aproximadamente, a los 134 días de vejez.

— el hormigón de la cabeza superior dió, con probetas cúbicas, 618 kg/cm^2 a los 70 días.

II.- 5) La rigidez medida de la viga acabada era en este momento,

$\rho_3 = \frac{2 P_v}{f}$ = 0,650 t/mm de flecha, correspondiente a una flecha de 15,4 mm para una carga útil de 10 t, o sea, 1,4/1.000 ó 1/714 de la luz.

II.- 6) A lo largo de este primer ensayo se ha llegado a la carga to-

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

tal de 21.090 kg con una carga sobre el peso propio de 16.530 kg, es decir, 1,65 veces la carga útil de trabajo.

II.- 7) La viga se ha dejado con la carga total de 19.290 kg durante 49 días.

II.- 8) Las tensiones alcanzadas a lo largo de este ensayo y después, durante los 49 días bajo carga, han sido las siguientes:

El 19 de Marzo de 1951 y días siguientes	Tensiones alcanzadas	
	A lo largo del ensayo bajo carga total de 21.090 kg.	Mantenidas durante 49 días bajo carga total de 19.290 kg
Hormigón de la cabeza inferior a compresión.	46,1 kg/cm^2	68,5 kg/cm^2
Hormigón de la cabeza superior a compresión.	180,8 kg/cm^2	160,8 kg/cm^2
El acero de la cabeza inferior a tracción.	29,18 kg/mm^2	28,38 kg/mm^2
El acero de la cabeza superior a compresión.	13,00 kg/mm^2	12,40 kg/mm^2

II.- 9) Se ha alcanzado a lo largo de este ensayo 1,65 veces la carga útil de servicio y, no obstante, ninguna fisura se produjo en el hormigón de la cabeza inferior. Tampoco se produjo ninguna durante los 49 días en que la viga ha continuado soportando 1,47 veces la carga útil de servicio.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

II.- 10) Observación importante:

Resulta de lo que precede que, contrariamente a lo ocurrido en la viga tipo, la viga "Preflex" había ya sufrido, el 19 de Marzo de 1951, solicitaciones muy superiores a las máximas de seguridad.

Es útil recordar que para obras de hormigón las prescripciones reglamentarias indican que, en los ensayos de recepción de obras, las solicitaciones máximas de trabajo no excedan a los límites superiores, para evitar que, durante los ensayos de recepción, se produzcan degradaciones y deformaciones permanentes que debiliten al hormigón.

Visto desde este ángulo, la viga "Preflex" se encontraba en los ensayos que han seguido, en situación de viga "forzada", tanto desde el punto de vista del acero como el de los hormigones.

La parte derecha de la fig. 4 resume algunos resultados del ensayo del 19 de Marzo de 1951.

B.- ENSAYOS DEL 24 Y 29 DE MAYO Y DEL 6 DE JUNIO DE 1951 (*)

Los resultados principales de estos ensayos se han recapitulado en el diagrama de la fig. 5, que da las flechas, representadas por las abscisas, en función de las cargas, y éstas, por las ordenadas, para las dos vigas: la viga tipo (T) y la viga "Preflex" (X).

Este diagrama se ha dibujado con dos sistemas de ejes distintos. El primero con el punto O, como origen, corresponde a las lecturas hechas a lo largo de los ensayos, sin tener en cuenta el peso propio de las vigas (4,560 t) y de los gatos, dinamómetros, articulaciones, etc. (0,800 t).

En este primer sistema de ejes, las ordenadas representan la

(*) Los ensayos del 24 de Mayo de 1951 han sido efectuados en presencia de numerosísimos invitados, y los otros han tenido lugar en presencia de menor número de personas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

carga total ejercida por los gatos ($2\ P_v$); y las abscisas, las flechas correspondientes.

El segundo sistema de ejes, con origen en el punto O, tiene cuenta de todas las cargas. El punto O se halla desplazado con relación al O_1:

- verticalmente, se ha representado la carga total existente antes de entrar en acción los gatos (5.360 t).

- horizontalmente, las flechas correspondientes se han calculado de acuerdo con el valor

β_3 = 0,650 t/mm de la flecha comprobada el 19 de Marzo de 1951 en la viga "Preflex", es decir, 8,25 mm.

No se ha tenido en cuenta que en la viga tipo, dicho valor no es más que 0,612 t/mm de flecha.

Sobre el eje de las flechas totales se ha señalado, además de los valores absolutos expresados en mm (cifras inferiores), una segunda escala dando, en milésimas de la luz, las flechas que se producirían si la carga fuera uniformemente repartida.

I.- La viga tipo sin preflexión (fig. 5).

Los puntos del diagrama que corresponden a esta viga son: $T_o - T_1 - T' - T'' - T''' - T_2$, de los cuales la parte $T_o - T_1$ corresponde a la zona del peso propio y del peso de los aparatos; la parte $T_1 - T_2$, al aumento carga efectuado el 24 de Mayo de 1951; y el intervalo $T_2 - T_3$, al descenso de la carga efectuado el 24 de Mayo de 1951 al final del ensayo.

La zona $T_3 - T^{IV} - T^{V} - T_4$ corresponde al aumento de carga efectuado el 6 de Junio de 1951. Las observaciones que se desprenden son las siguientes.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

I.- 1) Un poco más bajo de la carga total de fisuración de 6.260 t a la que se llegó el 10 de Marzo de 1951, se inicia un cambio de dirección de la curva.

Este cambio está claramente marcado en el punto T' que corresponde a una carga de 1 t por encima de la carga total de trabajo de 7.560 toneladas.

Las fisuras no son una degradación local menor solamente, sino la señal de una pérdida apreciable de rigidez del conjunto de la viga y, sin embargo, la vigueta propiamente dicha y el hormigón comprimido todavía hallan en estos momentos un estado perfectamente elástico.

Se recordará que al final del ensayo efectuado el 19 de Marzo de 1951, el hormigón de la cabeza inferior presentaba 11 fisuras.

I.- 2) El pequeño intervalo T''- T''' corresponde a una parada del ensayo, ya que la tubería de alimentación de uno de los gatos presentaba una fuga; por lo que fué necesario parar el ensayo y reanudarlo poco después.

I.- 3) La pendiente media de la parte T'- T_2 es la expresión de la rigidez de la viga después de la fisuración; ella es evidentemente intermedia entre la pendiente de ON_1 (rigidez de la vigueta desnuda) y la pendiente OO_1 (rigidez de la zona elástica de la viga recubierta).

I.- 4) Al final del ensayo del 24 de Mayo se hizo descender la carga de los gatos a cero, y en este momento la flecha correspondiente a la zona O_1 - T_3 fué de 19 milímetros.

Esta flecha no ha sufrido modificación entre el 24 de Mayo y el 6 de Junio.

I.- 5) El 6 de Junio de 1951 se ha vuelto a iniciar la subida continua de carga, efecto que representa T_3 - T^{IV} - T^{V} - T_4.

En la zona del punto T^{IV} la curva cambia de dirección clara

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

mente; ello proviene seguramente del hecho de que la cabeza inferior de la vigueta comienza progresivamente a rebasar el límite de elasticidad del acero y a sufrir los alargamientos correspondientes.

I.- 6) A partir de la región del punto T^V (flecha f_v = 150 mm), basta un pequeño incremento de la carga de los gatos para provocar un gran aumento de la flecha, y la curva se alarga considerablemente; ello proviene de los grandes alargamientos de la cabeza inferior de la vigueta recubierta.

Se ha alcanzado la carga límite sin que aparezca ninguna ruptura del hormigón en la cabeza superior de la viga.

I.- 7) El ensayo se suspendió en el punto T_4 con una carga total de 33,840 t, o sea, una carga en los dos gatos 2 P_v = 28.480 t. En este momento la flecha total f_{tot} = 328 mm, o sea, aproximadamente de 30/1.000 de la luz, lo que representa un valor considerable.

En este momento las fisuras en la cabeza inferior del hormigón eran 81, de las cuales 34 habían llegado hasta el alma. Otras 10 habían llegado por debajo del hormigón de la cabeza superior, esto, no obstante, sin llegar a interesar los bordes laterales.

Las 11 fisuras que habían ya aparecido el 19 de Marzo de 1951 habían alcanzado una abertura de 5 mm en la base.

I.- 8) La cara superior del hormigón se hallaba absolutamente intacta, y no existía ningún indicio de deslizamiento relativo en el hormigón con relación a la cabeza superior de la vigueta.

Se recuerda que esta viga tipo no disponía de elementos adicionales soldados de tope para evitar el deslizamiento del hormigón.

I.- 9) Este ensayo no se interrumpió más que por el esfuerzo ejercido por los gatos que empezaban a dar una oblicuidad peligrosa con relación al eje deformado de la viga, pero sin llegar a la carga límite teórica.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

La viga ha sido mantenida conservando la misma forma alcanzada al final del ensayo.

II. La "Viga Preflex" (fig. 5).

Las curvas correspondientes a esta viga vienen dadas por lo puntos: $X_o - X_1 - X' - X'' - X_2$. En esa curva, la parte $X_o - X_1$ corresponde a la zona del peso propio y el peso de los aparatos; y la parte $X_1 - X_2$, al primer aumento de la carga efectuado el 24 de Mayo de 1951; $X_2 - X_3$, al primer descenso de carga efectuado el 24 de Mayo para comprobar si las fisuras se cerraban.

$X_3 - X''' - X_4$ corresponde al segundo aumento de carga del 24 de Mayo, dejando la viga en X_4 en estado de retención hasta el 29.

$X_4 - X_5$ pertenece al segundo descenso de carga efectuado al final del ensayo del 29 de Mayo.

$X_5 - X^{IV} - X^{V} - X_6$ corresponden al aumento de carga efectuado el 29 de Mayo.

De este análisis se observa claramente:

II.- 1) Se recuerda que después del ensayo del 19 de Marzo de 1951, la viga se forzó sin llegar a la carga de fisuración.

La viga se mantuvo en el mismo estado de deformación a que se llegó el 19 de Marzo durante 49 días y después descargada hasta el 24 de Mayo, o sea, durante 17 días.

La viga no presentaba ninguna flecha permanente.

Al continuar los ensayos del 24 de Mayo, la viga no presentaba ni fisura ni flecha permanente, continuando la curva a partir del punto X_1.

II.- 2) El aumento de carga es casi rectilíneo de X_1 a X', rebasando mu

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

cho la carga de trabajo.

II.- 3) La primera fisuración de la cabeza inferior del hormigón se ha producido con una carga total de 23.960 t (*) (punto X'), es decir, con una carga útil F_{ut} = 19.400 t. La carga total de trabajo prevista es F_{tot} = 14.650 t de manera que la primera fisuración se ha producido por una carga total 1.645 veces la carga total de trabajo prevista y 1,94 veces la carga útil de trabajo.

II.- 4) Al producirse claramente la fisuración o cuatro grietas en el punto X_2, se provocó un descenso de la carga hasta el punto X_3. Se comprobó después que en el estado correspondiente a X_3, las cuatro fisuras se habían cerrado y no eran visibles ni con la lupa.

Nada semejante se pudo comprobar en la viga tipo. Después de este resultado no se ha juzgado necesario descender más la carga.

II.- 5) El descenso $X_2 - X_3$ pone de manifiesto la ausencia de la flecha permanente, hasta la carga total de 23.960 t, mientras que la viga tipo dió una flecha de 19.760 mm después del descenso $T_2 - T_3$.

II.- 6) Al igual que para la viga tipo, se puede observar muy claramente un codo un poco antes de la primera fisura. Pero aquí este codo testimonia una caída de rigidez sensiblemente simultánea en el hormigón y metal trabajando a tracción, según una dirección media $X''' - X_4$ casi paralela a la dirección media $T^{IV} - T^{V}$.

El hormigón que, en la viga tipo, no podía seguir los alargamientos del metal sin fisurarse hasta llegar a la carga de 12 kg/mm² llega, por el contrario, en la "Preflex", a seguir la deformación del metal exactamente hasta su límite elástico.

(*) Hay que señalar que la primera fisuración ha dado por resultado dos fisuras que se han producido a la altura de los agujeros, de 35 mm de diámetro, a la mitad de la altura de la cabeza inferior de la viga.

La fisuración ha sido, pues, un poco prematura y debe considerarse más bien como producida por 24.730 t (punto X_2), en el momento de aparecer dos nuevas fisuras en otra zona distinta de la de los agujeros (fotos 2 y 4).

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Al final del ensayo del 24 de Mayo se ha retenido la viga "Preflex" conservando el estado representado por el punto X_4 correspondiente a $2\ P_v = 26.780$ t.

II.- 7) Se levantaron los gatos, y la viga recobró algo de flecha entre el 24 y el 29 de Mayo, porque algunas de las cuñas de madera habrían sufrido un aplastamiento bastante fuerte. No obstante, fué necesario un esfuerzo de los gatos de 20.760 t para que las cuñas se liberaran.

II.- 8) Después se llevó seguidamente la carga de los gatos a cero, que corresponde al punto X_5 del diagrama. Esto dió lugar en el intervalo $O_1 - X_5$ de una flecha de 22,68 mm a la altura del origen O_1. Esta flecha es apenas superior a la correspondiente a $O_1 - T_3$ que daría la viga tipo después de haber soportado la carga T_2 de los gatos que equivale a 17.600 toneladas.

En esta situación distendida, las fisuras que aparecieron entre los apoyos y los gatos se cerraron todas hasta el punto de no ser visibles ni a la lupa. Otro tanto, ocurrió con las otras tres últimas fisuras que aparecieron entre los gatos.

Las grietas que aparecieron entre los gatos se cerraron completamente y permanecieron apenas perceptibles.

II.- 9) A partir del 29 de Mayo de 1951 se empezó a aumentar la carga en los gatos.

Para ganar tiempo, en la zona anterior al punto X_4 no hicieron lecturas en los aparatos, pues esta operación comporta siempre una pérdida de tiempo, limitándose solamente a las lecturas en los puntos X^{IV} y X^{V} que, prácticamente, corresponden al punto X_4. Durante esta última lectura la flecha aumentó 3,5 mm (sobre los 104,5 mm) originales.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

El ensayo se continuó normalmente, y se hicieron numerosas lecturas entre los puntos X^V y X_6, intervalo que corresponde a grandes deformaciones. Como ocurre en la viga tipo, el diagrama muestra muy claramente que en X_6 se había llegado a la carga límite, ya que un pequeño aumento de carga debido a un gran aumento de la flecha superior de la viga no presentaba signo alguno de debilidad.

En esta zona, a igual flecha, la carga de la viga "Preflex" permanece en todo momento un poco superior a la de la viga tipo, diferencia que es de más de 1.130 toneladas.

Así pues, y con la carga límite y a pesar de que el hormigón de la cabeza inferior esté completamente fisurado, la viga "Preflex" mantiene un efecto hasta el final, sacando partido de su predeformación.

No obstante, desde el punto de vista técnico se dirá que las cargas límite de las dos vigas son prácticamente las mismas.

II.- 10) Como sucedió con la viga tipo, el gran valor de la flecha y la inclinación relativa, muy fuerte, de cada gato en relación a la deformación, ha motivado la suspensión del ensayo.

Por otra parte, al llegar a la carga límite debía esperarse más que un aumento muy grande de flecha.

Las fotografías 5 y 6 muestran el aspecto de la viga al final del ensayo del 29 de Mayo de 1951.

En este momento la viga ha sido retenida en su estado deformado con el solo objeto de una demostración permanente.

La carga total máxima alcanzada fué de 34.970 t, es decir, que la carga total de los gatos, sin tener en cuenta el peso propio y el de los aparatos, fué pues $2\ P_{v.máx} = 29.610$ t. La flecha total alcanzada fué de $f_{tot.\ máx.} = 303$ mm, o sea los 27,5/1.000 de la luz, que su

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

pone un valor considerable, y a partir del cual se puede admitir que la condiciones técnicas de funcionamiento de la viga han sido francament rebasadas.

II.- 11) Fisuración.

El número total de fisuras ha sido de 17 en la viga "Preflex y 81 en la viga tipo. La primera fisura que apareció en el hormigón de alma se produjo bajo una carga total de 31.860 t y tenía aspecto filifo me, es decir, como un pelo.

Algunas de estas fisuras filiformes han penetrado en el hormigón de la cabeza superior de la viga, que permaneció completamente intacta.

Al final del ensayo cuatro de las primeras fisuras en el hormigón de la cabeza inferior se abrieron hasta llegar a tener 3 mm de lu aproximadamente.

II.- 12) No se observó ningún deslizamiento del hormigón respecto al entramado metálico del interior de la viga "Preflex".

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

C.- Comparaciones.

De todos los ensayos descritos anteriormente se han obtenido estos elementos de comparación:

Elementos comparados	Viga tipo	Viga "Preflex"	Relación
Carga total de trabajo prevista $F_{tot.serv.}$	7.560 t	14.560 t (Seguridad 2,40 con relación a la carga límite).	1,92
Carga útil correspondiente	3.000 t	10.000 t (Seguridad 3,04 antes de alcanzar la carga límite, incluído peso propio).	3,33
Carga total de la 1ª fisuración (experimental)	6.290 t, equivalente a 0,58 de la carga de trabajo.	23.960 t, equivalente a 1,65 de carga útil de trabajo.	3,81
Carga útil correspondiente	1.730 t, equivalente a 0,58 de carga útil	19.400 t, equivalente a 1,94 de carga útil.	11,22
Flecha total con carga total de trabajo prevista para la viga "Preflex" (14.560 t), suponiendo la carga uniformemente repartida.	37,6 mm, o sea, 3,42/1.000 de la luz	18,6 mm, o sea, 1,69/1.000 de la luz	0,495
Flecha debida a la carga útil correspondiente	31,1 mm ó 2,83/1.000 de la luz	12,1 mm, es decir 1,1/1.000 de la luz	0,390
Carga límite $F_{últ}$ alcanzada, sin signo de debilidad en las partes comprimidas del hormigón.	33.840 t	34.970 t	1,03
Flecha máxima alcanzada al parar el ensayo.	328 mm, o sea, 30/1.000 de la luz	303 mm, o sea, 27,5/1.000 de la luz	
Número de fisuras en el alma con flecha máxima.	81 debidas a la carga útil, de las cuales 34 han alcanzado el alma y 10 la base de la cabeza superior.	17 debidas a la carga útil, de las cuales 6 han alcanzado el alma y ninguna la base de la cabeza superior.	

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

VI. CONCLUSIONES GENERALES RELATIVAS A LOS ENSAYOS EFECTUADOS.

Las dos vigas, tanto la "Preflex" como la viga tipo normal tenían las mismas dimensiones, es decir, luz de 11 m, altura total de 35 cm y esbeltez de $\frac{h}{1}$ = 1/31,8.

1. En las dos vigas, para una flecha de más de 300 mm, o aproximadamente 30/1.000 de la luz, se había alcanzado la carga límite.

Esta carga se ha considerado como el límite a partir del cual la viga no es apta para cumplir su papel técnico (ver foto 5).

Pero con la considerable flecha indicada, la viga no se rompió y la parte comprimida del hormigón quedó intacta.

Todo ello presenta una acción de seguridad considerable.

2. La preflexión no aumenta apenas la carga límite pero si valoriza señaladamente la carga útil de la viga, mientras que la viga recubierta sin preflexión tiene una carga de utilización muy reducida.

En la zona de utilización todo el diagrama se desplaza hacia arriba, dando, a igual flecha, una carga muy aumentada.

3. La preflexión da una carga total de trabajo del orden dos veces superior a la que daría la pieza sin deformación previa. Con esta carga, la viga predeformada es perfectamente elástica.

4. La viga "Preflex" presenta una seguridad de 1,65 de la carga total de trabajo, respecto a la carga de la primera fisuración, mientras que la viga sin preformación se fisura a 0,83 de la carga total de trabajo.

5. La viga predeformada ha presentado una rigidez notable en la zona de utilización, lo que permite satisfacer a todas las consideraciones posibles en esta cuestión.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Bajo la carga total de trabajo prevista, presenta una flecha total de 18,6 mm, o sea, 1,69/1.000 de la luz, y, teniendo en cuenta solamente la parte de esta carga que rebasa el peso propio, la flecha es de 12,1 mm, es decir, de 1,1/1.000 de la luz.

Si las sobrecargas móviles o variables no fueran más que la mitad de la carga total, darían lugar a una flecha de 9,3 mm, equivalente a 0,85/1.000 de la luz.

VII. CONCLUSIONES DE PRINCIPIO.

La viga "Preflex" del género descrito es una asociación racional entre dos materiales de calidad:

1. Una vigueta de acero tipo A.52 (o similar).
2. Un recubrimiento de hormigón de resistencia elevada.

En esta asociación, el límite elástico elevado del primer material y la importante resistencia del segundo son, ambos, enteramente puestos a contribución, gracias a la eliminación práctica de dos barreras gigantes por excelencia:

1. Las flechas bastante grandes.
2. La fisuración del hormigón.

Si el primer material aporta por sí mismo toda la resistencia deseable, el segundo, protegiendo al primero contra la corrosión, por ejemplo, da la rigidez que al otro le faltaba. El hormigón contribuye poniendo en valor su gran resistencia a la compresión, sin por ello fisurarse en las zonas que tienden a formarse convexiones a pesar de su débil resistencia a la tracción.

Todo esto ha permitido realizar, económicamente:

1) Una altura muy reducida con relación a la luz.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

2) Una seguridad de la carga total de trabajo del orden de:

a) 2,5 con relación a la carga límite (que no es la carga de ruptura).

b) 1,65 con relación a la primera fisuración de la cabeza trabajando a tracción el hormigón.

c) 1,65 con relación al límite elástico aparente del acero.

3) Una rigidez relativamente muy grande, es decir, una flecha relativamente pequeña.

4) La imposibilidad de ruptura de la viga por aplastamiento del hormigón comprimido y, a fortiori, por ruptura de la propia vigueta ó cuerpo metálico.

A todo esto se debe añadir las dos consideraciones siguientes:

5) Cada armazón metálico y el hormigón sometido a compresión sufre, a lo largo de su fabricación, un ensayo automático de carga igual o superior a la carga de trabajo.

6) El margen entre las tensiones máxima y mínima en el metal, al pasar las cargas móviles, es reducida a 1/3 del valor que tendría sin preflexión.

Estos datos, sacados de un estudio teórico y de ensayos efectuados sobre vigas importantes, caracterizan el interés del sistema.

VIII. OBSERVACION IMPORTANTE

A la presente publicación seguirá otro estudio consagrado la evolución de las tensiones en una viga "Preflex" a lo largo de su fabricación y en servicio. así como los métodos de cálculo.

En ese estudio se tratarán con detalle las pérdidas posibles de preflexión debidas a la retracción y fluencia del hormigón sometido a una precompresión.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Esto, no obstante, de momento podemos observar:

En los ensayos del 24-5-51, el hormigón sometido a compresi de la viga "Preflex" tenía una vejez de 200 días y había llegado al peri do final de retracción. Por otra parte, el hormigón se sometió a una con presión posterior durante cerca de 100 días, es decir, que los dos terci por lo menos de su fluencia ya estaba realizada.

El día de la liberación del esfuerzo que retenía la viga de formada por la flexión, pasó de 139 a 74 mm. En el estado de predeforma ción, que corresponde a estos 74 mm, se han perdido 9 mm, a causa de l fluencia del hormigón, por lo que la mayor parte de la retracción debió c jarse realizar antes de proceder a liberar la viga del esfuerzo emplead en su deformación previa.

Así, pues, el 24-5-51, el estado de predeformación equivalí en lo que a flecha respecta, a 65 mm. Se pudo comprobar una falta de co cordancia de las cargas de fisuración entre la viga normal y la "Prefle es decir, una diferencia de 17.670 t, y una relación o cociente de:

$$\frac{23.960}{6.290} = 3,81.$$

Si se supone que 1/3 que faltaba de la fluencia debía reduc se a continuación, se infiere una pérdida suplementaria 4,5 mm de flech que deben deducirse de los 65 mm, lo que nos da la relación:

$$\frac{4,5}{6,5} = 0,07$$

Esto tendría por consecuencia una disminución de la carga t tal de fisuración de la viga de 0,07 x 17.670 = 1.240 t y, finalmente, l llevaría a 23.960 - 1.240 = 22.720 t, que representa 1,56 veces la carg total de trabajo. Este último coeficiente 0,83 correspondiente a la vi tipo normal.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Este razonamiento, esbozado, da pruebas de que el coefici te de seguridad a la fisuración en la viga "Preflex" no disminuye, a sar del aumento de carga de seguridad, al valor del coeficiente corre pondiente en la viga tipo normal.

En los cálculos se tiene en cuenta las pérdidas posibles preflexión adoptando un valor reducido del módulo de elasticidad E_b d hormigón con relación a su valor inicial real.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

837-4-8 PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN RUSIA PARA LA PREFABRICACION DE ELEMENTOS DE HORMIGON PRETENSADO. Por : W.W. Michailow

Se estima que en el año 1960, la producción de elementos prefabricados de hormigón pretensado en la República Soviética será 20 veces mayor que la correspondiente al año 1956. Aproximadamente el 25% de la producción total de estos elementos corresponde al hormigón armado ordinario.

Este incremento de producción sólo podrá lograrse desarrollando convenientemente nuevas Empresas, por la construcción de talleres de prefabricación de elevado grado de mecanización y el fomento de la producción en masa de materiales de alta resistencia y de bajo costo. Naturalmente, para lograr esta elevada producción será necesario todo un estudio de normalización general, miles de obreros especializados dentro de un cuadro de monitores especialistas, técnicos e ingenieros y el establecimiento de normas de carácter puramente técnico.

En las fotografías del 1 - 5 se pueden apreciar las maquetas de uno de los talleres de prefabricación de diversos tipos de elementos de hormigón armado.

Los procedimientos que actualmente se emplean para tesar las armaduras de los elementos prefabricados se pueden resumir así:

1. Utilización de armaduras de alambre colocadas de forma continua utilizando el procedimiento del profesor Michailow.

2. Empleo de armaduras simples o múltiples para el pretesado de elementos de grandes dimensiones, que pueden ser de una sola pieza o de un conjunto o reunión de ellas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

En este caso la armadura queda anclada directamente por el endurecimiento del hormigón, es decir, que al endurecer el hormigón, la armadura que había sido colocada en un estado previo de pretensión, queda anclada por adherencia al cortarla del carrete de que procedía en su posición definitiva.

Estas armaduras se tesan directamente a medida que se van colocando.

3. Pretensado empleando armaduras constituídas por simples alambres por reunión de ellos en forma de cables, utilizado para la fabricación en serie, con la particularidad de emplear como anclaje el propio molde o encofrado.

4. Pretensado de armaduras de alambres simples o en forma de cables, empleando dispositivos especiales mecánicos de tesado y hormigoneras móviles para la colocación del hormigón.

5. Método de pretensado en el que se utiliza armaduras de distinto género, tales como cables, varillas, perfiles laminados, placas, reticulados metálicos.

6. Utilización de los cementos expansivos para conseguir el estado de pretensado de las armaduras, procedimiento que todavía no se encuentra en pleno desarrollo.

La prefabricación de elementos de hormigón pretensado requiere una serie de operaciones. Las más importantes son: Preparación de los dispositivos que han de servir de anclaje de armadura, colocación de éstos en el molde o encofrado, procedimientos de hormigonar y recubrir las extremidades o anclajes de los elementos.

Estas operaciones requieren una gran cantidad de tiempo, que varía según el procedimiento empleado.

En estos últimos años se han estudiado diversos procedimi

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

tos de pretensado, cuya aplicación no sólo se limitaría a su empleo en fábricas y talleres, sino en la propia obra, pues las operaciones necesarias para llevarlos a cabo en este caso particular se ha procurado sean lo más sencillas posible.

En general, todos estos procedimientos no parece sean suficientes para hacer frente a la realización de generosos proyectos emprendidos en esta materia dentro del VIº Plan Quinquenal de la República Soviética.

Para alcanzar la producción que se cree necesaria y lograr la prefabricación de elementos en masa se han desarrollado en la URRS nuevos tipos de elementos de hormigón pretensado, que se han diferenciado entre sí según se coloquen las armaduras siguiendo la dirección de dos o tres ejes geométricos.

La armadura se forma colocando un alambre contínuo, que se extiende siguiendo el trazado previsto para cada uno de los elementos que se han de prefabricar. Este método ha constituído la base de un cambio de sistema sustancial en la prefabricación.

En este método, el alambre que ha de servir para las armaduras se suministra en carretes o bobinas, colocadas en un dispositivo especial que permite el tesado automático a medida que se va colocando la armadura en forma continuada, es decir, sin solución de continuidad. Este alambre continuo que, como se dijo anteriormente, queda tesado, sugle anclarse en las paredes de los bancos de trabajo de los talleres de prefabricación.

El método, tal como ligeramente se ha descrito, es el que se utiliza actualmente en la prefabricación en masa de los elementos pretensados.

Las primeras máquinas y dispositivos para la colocación ini

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

terrumpida de armaduras dispuestas directamente y sometidas a la tensió previamente calculada en cada caso, data del año 1945, habiéndose emple do posteriormente otros dispositivos; entre los cuales citaremos:

1. Método en el que se utilizan los carretes apuntados ante riormente que sueltan ya en el alambre directamente tesado.

2. Bastidores dotados de movimientos suficientes de rotació y translación para permitir guiar y colocar la armadura en sus respecti vos moldes o encofrados.

3. Bastidores especiales provistos de dispositivos particul res de giro.

4. Máquinas dotadas de movimientos únicamente en sentido lo gitudinal y transversal.

Todos estos dispositivos y máquinas se comprobaron estrecha mente para llegar a un análisis concluyente que indujese a las posible correcciones de defectos o imperfecciones si las hubiese. De todas esta observaciones y experiencias obtenidas con la utilización de las máqui nas empleadas para la colocación de las armaduras mecánicamente, se ha llegado a la conclusión que un determinado tipo rotativo de bastidor pu de sustituir ventajosamente a cualquiera de las máquinas a que anterior mente nos hemos referido. Actualmente se haya en estudio un nuevo dispo sitivo móvil para la colocación de armaduras, cuyo empleo no se limita al taller sino también a la propia obra, y va montado sobre una grúa pó tico que se mueve sobre una vía de 3,5 m de trocha.

En el gran proceso general de prefabricación se han estudia do varios tipos de elementos pretensados, en los que se emplean las arm duras continuas que se van desarrollando de un carrete o bobina. Entre los elementos pretensados más comunmente prefabricados se pueden señala

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

1. Vigas para cubiertas de edificios industriales con lucos de 12, 15, 18 y 24 m. Estas vigas están constituídas por elementos individuales de 6 a 9 m de longitud que se han armado en dos direcciones : longitudinal y transversal. La unión entre dichos elementos para constituir la viga se realiza por medio de pernos o bien hormigonando la junta de unión entre ambos.

2. Losas para forjados, destinadas para la construcción de viviendas, lisas o de tipo nervado, provistas de armadura continua inferior e intradós nervado.

3. Paneles, destinados a la construcción de muros en los que la armadura también es continua y el hormigón ligero. Los cercos de estos paneles constituyen la base esencial del pretensado.

4. Vigas, viguetas, losas, columnas huecas y otros tipos de elementos en los que la armadura continua facilita la producción en los talleres que se dedican a la prefabricación en masa.

Otros tipos de elementos se encuentran aún en estado de estudio y algunos de ellos a punto de introducirse en la producción industrial.

Más de 15 Empresas de la República Soviética se han adaptado al empleo de armaduras continuas, especialmente en la prefabricación de elementos para la construcción de viviendas.

La prefabricación de diversos tipos de losa hueca utilizada en la construcción de forjados para edificios ha facilitado en estos tres últimos años la familiarización con estas máquinas que colocan las armaduras continuas previamente tesadas y, como consecuencia inmediata de esta familiarización, llegar al establecimiento de normas para fijar el tiempo necesario de prefabricación. Según la densidad de las armaduras el tiempo necesario para su colocación varía, como es lógico y natural.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Para dar un orden de magnitud del tiempo necesario de prefa-bricación para este tipo de vigas y contando con una cuantía de 50 kg/m es de unas treinta horas por tonelada de armadura. Sin embargo, para el caso de losas huecas para forjado y cuantía de 10,5/kg m^3, es de cien ho-ras por tonelada de armadura. Esto no obstante, todavía no han sido ex-plotadas todas las posibilidades que del empleo de carretes de armadu-ras colocadas automáticamente en estado teso se podría lograr. La dism-nución del número de horas de trabajo necesario cuando se emplea los pro-cedimientos de armadura continua mecánica y automáticamente tesada hac sentir notablemente la reducción del precio del coste. La fábrica "Lju-berzki" ha instalado un cuarto banco para la prefabricación de losas de hormigón pretensado para forjados de edificios residenciales en el que se utiliza un bastidor giratorio.

Con un sólo bastidor giratorio se han prefabricado en el año 1956,39.000 m^3 de hormigón pretensado y 470.000 m^2 por un sólo obrero. Se ha estimado que con ayuda de un bastidor giratorio se pueden prefa-bricar al año hasta 50.000 m^3 ó 600.000 m^2. En el método de colocación de armaduras en forma continuada utilizando procedimientos mecánicos que las dejan definitivamente tesadas dentro de sus moldes o encofrados, la pérdida debida a los restos de armadura que los cortes sucesivos de és-ta deja entre piezas se eleva de 0 hasta el 15% como máximo. En la pre-fabricación de losas armadas utilizando el sistema de armaduras conti-nuas, debe contarse con una pérdida debida al corte entre elementos del orden del 2%.

En las vigas que necesitan un zunchado en una de las cabe-zas, las pérdidas por restos de armadura debidas a los cortes entre ele-mentos se elevan del 12 al 14%. En los elementos para vigas destinadas a la construcción de viviendas y losas para cubiertas, las referidas pér-didas no rebasan el 2%.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

La armadura continua, tesada automáticamente al colocarla halla un amplio campo de utilización en la construcción de elementos p ra viviendas en los que se utilizan armaduras siguiendo la dirección d dos ejes, pistas para aeropuertos, vigas compuestas, losas para cubie tas de edificios industriales y dinteles. Tan pronto como se introduz ca en la prefabricación un nuevo tipo de máquina podrán armarse mecán camente y en la misma obra elementos de gran longitud y de una sola pi za.

Además de los elementos pretensados con armaduras colocadas según el procedimiento mecánico y continuo de tesado automático, s emplean en la URRS, desde 1946, elementos cuya armadura está constitu da por redondos o barrillas múltiples de gran espesor que se tesan y a clan después de hormigonar. Este tipo especial de elementos está indi cado particularmente en la construcción de edificios industriales, es tructuras para puentes, autopistas y puentes para ferrocarriles. Los elementos prefabricados para la construcción de losas nervadas tiene una luz variable de 8,4 a 22,7 m. Una viga de las que generalmente s utilizan en la construcción de puentes de 15,8 m de luz, dispone de u armadura de 14 cables de 46, 5 mm de diámetro cada uno. En los puente de 18 a 22,9 m de luz en los que sólo se utilizan dos vigas, éstas su len armarse con 8 ó 10 cables de 45,5 mm de diámetro cada uno.

Actualmente se hallan en estudio las posibilidades de p fabricación de elementos utilizando cables de 60,5 mm de diámetro. l caso de emplearse cables de gran diámetro, la construcción de puent se simplifica mucho, logrando una disminución notable de las horas trabajo necesarias respecto al caso de empleo de cables del tipo Fre sinet. En la realización del proyecto "Letransmostprojekt" se han ut lizado para la construcción de puentes de 33,2 m y 44 m de luz un ti de viga subdividida en elementos parciales. El volumen de hormigón n

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

cesario en esta clase de construcciones resulta ser más pequeño que correspondiente al de vigas pretensadas ordinarias de la misma luz,p la cantidad de acero en el primer caso es sólo un tercio de la que s ría necesaria en el segundo.

Además de las vigas de tipo sólido, el Instituto de Ferr carriles de Chabarowsk también se ha dedicado a la prefabricación de losías de hormigón pretensado. En el Instituto de Ferrocarriles de Tblissi se estudia la posibilidad de construcciones en arco utilizan tableros suspendidos con péndolas de hormigón pretensado. En todas e tas construcciones se han empleado cables de gran diámetro para cons tuir las armaduras de pretensado. Los elementos de hormigón pretensa utilizando armaduras con cables pueden aplicarse también a la constr ción de piezas para grúas pórtico y para cubiertas de talleres indus triales de hasta 36 m de luz.

En la República Soviética se han construído ya más de 2 puentes de hormigón pretensado y se ha conseguido en su construcción una reducción del 30% en volumen respecto al hormigón utilizado en pu tes de hormigón armado ordinario. Actualmente se está construyendo e Moscú un puente urbano y otros para un ferrocarril utilizando los pro cedimientos del hormigón pretensado.

La experiencia ha demostrado que, en la construcción de pu tes, la utilización de cables de gran diámetro resulta ser menos econ mica en las pequeñas luces que en las grandes. Se ha podido comprobar que en la construcción de puentes de 23 m de luz la cantidad de hora de trabajo necesarias para su construcción resulta ser un 46% menor q las que se requerirían para un puente de sólo 11,5 m de luz.

La mayor parte de dicho tiempo la absorbe la propia prepa ración de los cables (37%), la preparación de las vainas metálicas y otras operaciones secundarias de los cables (38%); el resto de los tr

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

bajos, por tanto, sólo representa el 25%.

El promedio de horas de trabajo necesarias en este tipo de construcciones es del orden de 212,8 horas por tonelada de armadura empleada. Aún contando con la centralización de la preparación de armaduras, esto daría lugar a una disminución notable de costo.

En la construcción de puentes el material absorbe del 50 a 55% del precio total; la mano de obra, el 20%; y las instalaciones auxiliares y gastos generales, del 25 al 30% aproximadamente. Así pues en la construcción de puentes podría llegarse a una reducción de coste total, si se pudiese mecanizar el trabajo todavía más y se emplease para el mismo volumen un menor número total de elementos prefabricados.

La construcción de puentes de hormigón pretensado debe encargarse a presas dotadas de equipos modernos y de personal capacitado, así como de inspectores técnicos especializados que cuenten con experiencia adquirida en otras obras.

En la República Soviética se ha adquirido relativamente poca experiencia de los procedimientos de pretensado que utilizan cables y anclajes siguiendo el sistema Freyssinet. En las obras bien organizadas se necesitan unas 300 horas de trabajo por tonelada de acero empleada en las armaduras, valor que se halla por debajo de las cifras oficiales francesas.

Para poder determinar el consumo de acero por elemento prefabricado utilizando las armaduras de cables del sistema Freyssinet, debe tenerse en cuenta las pérdidas que resultan como consecuencia de cortar las armaduras en las extremidades de las vigas, pérdida que puede ser estimada de 2 a 8 cm por cable. Si la longitud del elemento prefabricado es del orden de 10 m, las referidas pérdidas se llevan al 16%; y si dicha longitud es de 20 m, la pérdida correspondiente es del 8%. Para una longitud de 30 m la pérdida es, aproximadamente, del 5,3%.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

En las construcciones industriales de la URRS se utilizan mucho los elementos de hormigón pretensado, armado con varillas de acero especial, de 40 mm de Ø, cuya resistencia varía de 8.000 a 10.000 kg/cm^2. En dicho país, este tipo de armadura encuentra especial aplicación en la construcción de vigas de hormigón pretensado para las cubiertas de los grandes cobertizos. Este tipo de armaduras se utiliza siguiendo el principio propiamente dicho de pretesar o postesar. Esta última forma de operar exige la existencia de un anclaje o punto de apoyo final para tesar. En este último caso, la prefabricación se realiza en dos fases. En la primera se hormigona dejando los conductos para la colocación de las armaduras que se tesan después; en la segunda se tesa la armadura, pudiendo hacer esta última operación en la propia obra.

El acero utilizado en la preparación de este tipo de armadura es la mitad más barato que el que se emplea en el extranjero con el mismo propósito. Comparando las armaduras constituídas con simple alambre de 5 mm de Ø resulta que el costo es sólo un 0,89 que el que resultaría utilizando el mismo alambre formando cables de varios cordones.

El empleo de varillas facilita la colocación de las armaduras y el dispositivo de anclaje final; por tanto, desde el punto de vista económico, en lo que respecta el número de horas de trabajo, es más reducido que el que correspondería utilizando alambre. El empleo de este tipo de armaduras de varillas para luces de 12, 15 y 18 m es más económico que si se utilizasen cables de varios cordones. Las armaduras de aleaciones de acero de baja calidad pueden también emplearse en la prefabricación de vigas que han de ser cargadas severamente, tales como las destinadas a sostener las vías de una grúa móvil. Ensayos realizados con estos tipos de viga han permitido comprobar que en los bloques de anclaje no es necesario la colocación de elementos especiales de retención cuando se emplean varillas de, por lo menos, 30 mm de diámetro.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

En la República Soviética también se utilizan, en la prefa-
bricación de elementos de hormigón pretensado, armaduras con superfici
rugosa para mejorar su adherencia y anclaje en el hormigón. Entre lo
distintos tipos de elementos prefabricados, utilizando el hormigón pre-
tensado, se cuentan las losas huecas de 12 x 1,5 m de superficie y viga
de hasta 18 m de longitud dedicadas a distintas clases de construcciones

Instalaciones.

Merecen especial atención las instalaciones permanentes d
prefabricación en las que se emplean, como maquinaria auxiliar, hormig
neras móviles automotores.

Se cree que en el año 1958 se emplearían, por lo menos, 5
unidades de este tipo especial de hormigoneras, de las que actualmente
se encuentran en servicio unas 20.

En este tipo de instalaciones que cuentan con máquinas com
binadas se podrán prefabricar losas huecas para cubiertas, en las que
tres de sus tabiques se pretensarán.

El rendimiento de este tipo de instalaciones es del orden d
10.000 a 12.000 m^3 de losa por año y puede llegar hasta los 20.000 m^3.

La mayor parte de las horas necesarias de trabajo en la pr
fabricación de estas losas son absorbidas en la preparación de la arma
dura, colocación de la misma y anclaje y tesado.

En la prefabricación de este tipo de losas provistas de a
maduras ligeras, una de las instalaciones permanentes de talleres de p
fabricación, que cuenta con una longitud de banco de trabajo de 200 m
longitud y convenientemente mecanizada, pudo lograr una reducción de
tiempo dedicado a la manipulación de armaduras a unas 53 horas por to
lada de armadura empleada, cifra que se acerca mucho a la correspondi
te al método de colocación continua y autotesada de armadura. Debido

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

estos resultados, se estimularán las instalaciones de este tipo permanen te en la producción de elementos de hormigón pretensado de longitud variable y en los que el pretensado se aplicará en los tabiques o por capas de elemento hueco.

Comparando los distintos tipos de construcciones de hormigón armado o pretensado, que han sido desarrollados en la República Soviética y en el extranjero, se puede apreciar una gran diversidad entre los sistemas que utilizan el hormigón armado ordinario y los pretensados. En las construcciones rusas de tipo mixto de hormigón armado y pretensado, el núcleo o parte interior de la construcción se realiza utilizando el hormigón armado y reservando las zonas externas sometidas a tracción para el hormigón pretensado, pero esto exige se asegure una buena adherencia en la zona de contacto entre el hormigón armado y el pretensado. Se ha tenido especial cuidado en recomendar que los elementos de hormigón pretensado no se coloquen nunca en el interior del órgano del que forman parte, sino en el exterior. En los últimos 10 años se han realizado en la URRS un gran número de construcciones mixtas, a base de elementos de hormigón armado y pretensado simultáneamente, estudiándose en ellas el problema de la deformación entre los elementos distintos de hormigón armado y pretensado para poder llegar a evitar la aparición de grietas, ya que, si la deformación llega a un cierto grado de diferenciación, se rompe la continuidad y aparecen las grietas. El límite del coeficiente de dilatación admitido para el hormigón armado es del orden de 30×10^{-5}, valor que deberá retenerse en el cálculo de estructuras de hormigón armado.

Empleo y materiales del hormigón pretensado.

La primer utilización con carácter práctico, realizado en la URRS, empleando elementos de hormigón pretensado, data del año 1945. Estos elementos se utilizaron en la construcción de cubiertas, y se prefabricaron con hormigón de escorias y armaduras de pretensado formadas co

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

alambre. Este tipo de elementos de hormigón pretensado también fué utilizado por primera vez para la construcción de centrales eléctricas rusas en las que el forjado de las grandes salas está constituído por un gran reticulado de vigas pretensadas. La cuantía de acero correspondiente a las armaduras pretensadas en estas construcciones fué de 124 kg/m^3 de hormigón, de cuya cifra 36 kg corresponden a un tipo de acero de alta resistencia. Este valor correspondiente a la cuantía fué disminuído a 13 kg/m^3 en las partes secundarias. Actualmente se está prefabricando grandes cantidades de hormigón pretensado para utilizarlos en la construcción en una gran central hidro-eléctrica, una esclusa derivación y un parque de transformación. Estos elementos serán colocados en obra en tal forma que podrán servir de encofrados para hormigonar el resto de las estructuras. El volumen reservado en estas estructuras a los elementos de hormigón pretensado es del orden de 16 a 20% del total de la obra, y el correspondiente al número total de elementos prefabricados de cualquier clase se eleva aproximadamente del 25 al 28%, supliéndose el resto con hormigón ordinario.

En la central hidro-eléctrica, la introducción de los elementos de hormigón pretensado ha permitido una economía de hormigón de un 15%. La cuantía de acero en este caso particular ha sido de 15 kg/m^3, mientras que en las construcciones ordinarias de este género suelen ser del orden 30 a 35 kg/m^3. Debe tenerse en cuenta que este nuevo tipo de construcciones, tales como las centrales hidro-eléctricas, el empleo de elementos de hormigón pretensado constituye una novedad.

En las construcciones mixtas, es decir, en las que intervienen elementos de hormigón armado y pretensado, tiene gran interés que el hormigón carezca de retracción. La investigación físico-química de los cementos en la URRS ha permitido conocer nuevas características referentes a los mismos, resultados que pueden ser utilizados para mejorar la resistencia e impermeabilización del hormigón. También han sido objeto de es-

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

tudio los cementos expansivos y su posible utilización en la prefabricación de elementos que aprovecharían su aumento de volumen para producir esfuerzos de tesado.

La adición de ciertos compuestos químicos al clínker del cemento Portland de cualquier clase puede obtenerse después de molerlo un tipo determinado de cemento expansivo. Hasta ahora sólo se exigía al cemento una función aglomerante para constituir un monolitismo con los áridos, pero, actualmente, el empleo del cemento expansivo abre la posibilidad de lograr un gran esfuerzo de tesado en la armadura, utilizando el aumento de volumen de la pasta de cemento durante su fraguado, logrando así una especie de pretensado automático del elemento prefabricado. La introducción de este tipo de cemento permite, en muchos casos, prescindir de las difíciles operaciones necesarias para tesar y anclar la armadura del elemento y, además, ofrece nuevas posibilidades dentro del amplio campo de los procedimientos pretensados.

El cemento expansivo puede obtenerse por molienda en seco del clínker de cemento Portland, aluminoso y cierta dosificación de yeso.

A las 24 horas la resistencia del cemento expansivo puede lograr de 200 a 300 kg/cm^2. Sin embargo, si se sumergen las probetas en agua el elemento se entumece rápidamente y se rompe, debido a la formación de aluminato sulfocálcico. Este proceso de rotura puede evitarse si se calientan las probetas sumergidas en agua, ya que operando así se logra una expansión acelerada, sin que por ello se disminuya la resistencia. Al calentar y mantener sumergida la probeta en el agua la resistencia aumenta constantemente, alcanzando de 500 a 700 kg/cm^2 después de estabilización del proceso expansivo (3 a 4%), lo que hace necesario el empleo de retardadores. Al aumentar el volumen se produce una compresión en el cuerpo del elemento de cemento expansivo que le hace aumentar su grado de cohesión y adquirir, por tanto, mayor densidad.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Experimentos realizados con probetas, con forma de anillo, de 20 mm de espesor, sometidas a una presión interior de hasta 20 atm, han permitido comprobar la gran capacidad impermeabilizante del mortero de cemento expansivo.

El grado de autopretensado que con él se pueda lograr depende del tratamiento que se siga en el agua caliente.

La tensión de tracción en una armadura de hormigón armado es función del coeficiente de dilatación de la misma, y tiene valores que varían de 12.000 a 14.000 kg/cm^2. El grado medio de autotesado utilizando este tipo de cemento en vigas simétricas varía de 35 a 45 kilogramos por centímetro cuadrado.

La gran impermeabilización obtenida con el cemento expansivo brinda a éste una especial aplicación en la prefabricación de tubos para la conducción de agua a presión.

Experimentos realizados utilizando tuberías de hormigón de cemento expansivo han confirmado la alta resistencia y absoluta impermeabilización de estos materiales. Uno de los tubos ensayados se sometió, durante 45 días, a la presión de 10 atm, valor que se elevó después a 15 atmósferas.

Actualmente se encuentran en período evolutivo las primeras máquinas utilizadas en la prefabricación de tubos para canalizaciones de agua. El diámetro de estos tubos es variable, pero se ha fijado un metro como límite superior.

Los elementos de hormigón pretensado encuentran una amplia aplicación en la República Soviética para la construcción de edificios industriales, residenciales, construcciones rurales, minas y centrales eléctricas.

Las formas y dimensiones de los elementos prefabricados, as

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

como el empleo de aceros de calidad, se hallan sometidos a las prescripciones y normas vigentes a tal efecto dictadas en la Unión Soviética.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

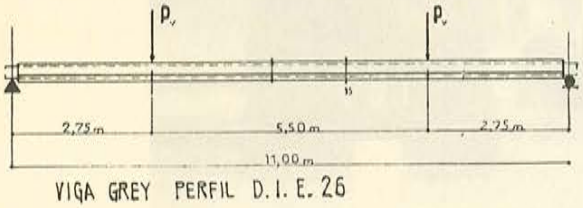

Fig. 1

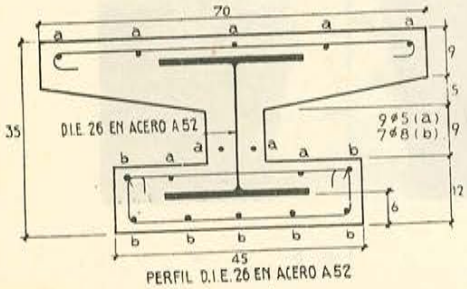

Fig. 2

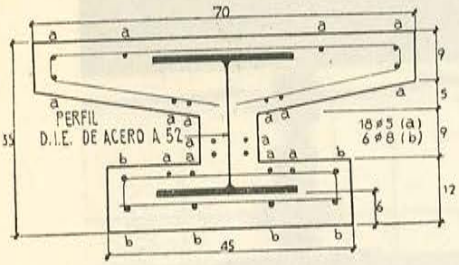

Fig. 3

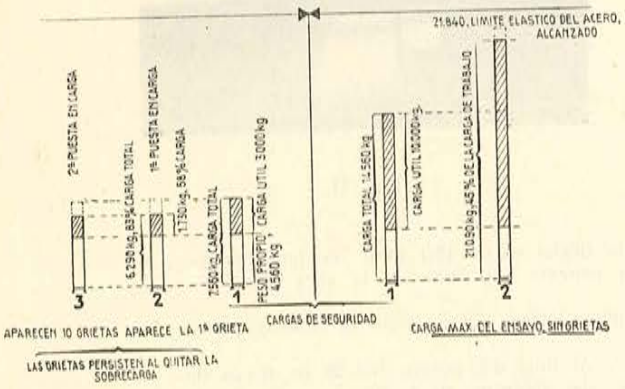

Fig. 4

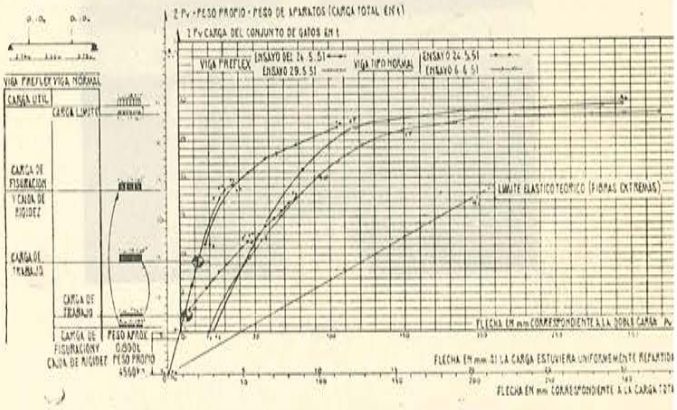

Fig. 5

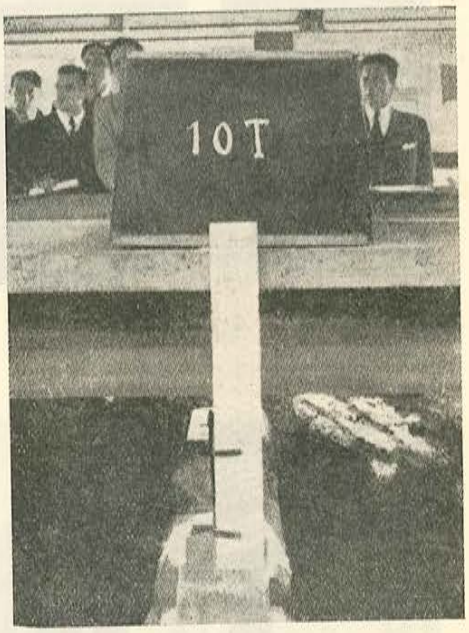

Fig. 6

Fig. 1.—Alzado de las vigas.
Fig. 2.—Viga tipo normal. Sección transversal.
Fig. 3.—Viga «Preflex». Sección transversal.
Fig. 4.—Gráfico comparativo del ensayo del 19 marzo de 1951.
Fig. 5.—Gráfico de los ensayos del 24 de mayo 1929 y 5 y 6 de junio de 1951 con viga de tipo n mal y la viga «Preflex».
Fig. 6.—Viga tipo normal. La carga total de gatos + peso de los aparatos = 10 toneladas, equivale a la carga útil de la viga «Preflex». flecha correspondiente a la sola carga de los ga (9,2 t) es de 32,5 mm. Las grietas son percepti incluso en la fotografía.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

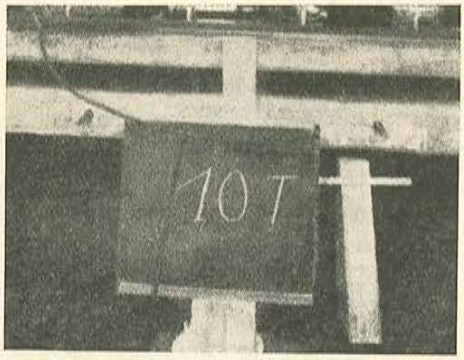

Fig. 7

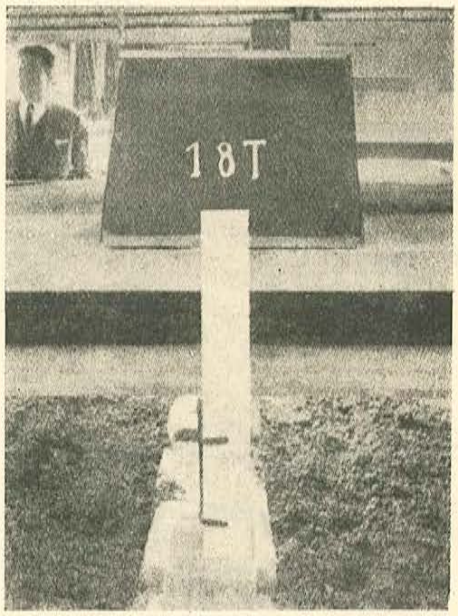

Fig. 8

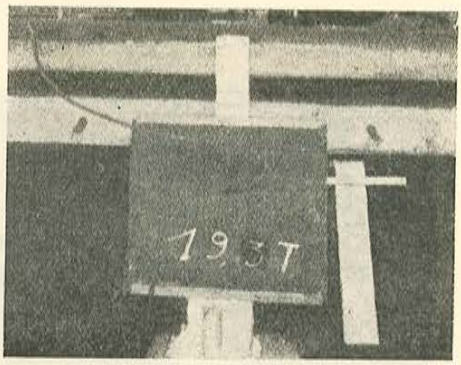

Fig. 9

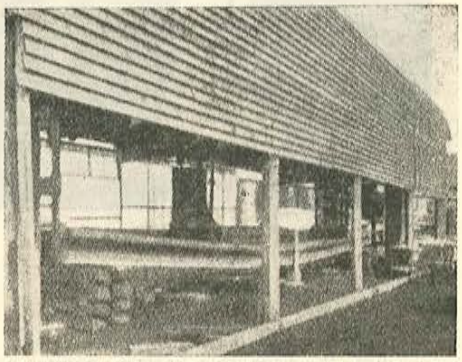

Fig. 10

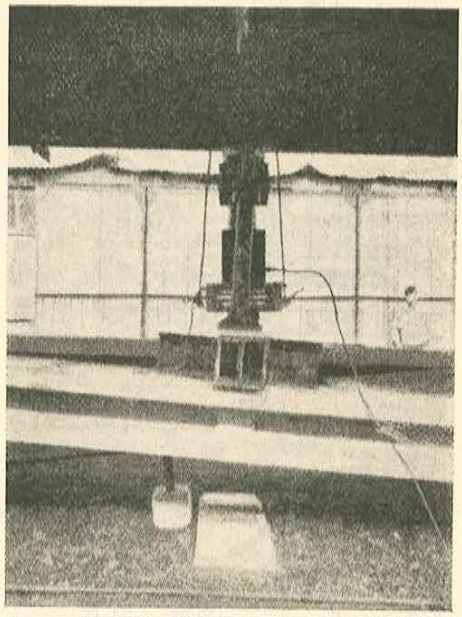

Fig. 11

Fig. 7.—Viga «Preflex. Con la carga indicada, la flecha es de 12,1 mm. No hay fisuras.
Fig. 8.—Viga tipo normal. Carga próxima a la primera fisuración de la viga «Preflex». Flecha: 76,4 mm. Número de fisuras: 18.
Fig. 9.—Viga «Preflex». Aparecen las dos primeras fisuras en la zona de los agujeros. Flecha: 30,7 mm.
Fig. 10.—Vista de conjunto de la viga «Preflex». Al final del ensayo del 29 de mayo de 1951. La flecha 29,5 mm corresponde al punto X_6 del diagrama de la 5.
Fig. 11.—Vista del detalle correspondiente a la foto 5. Gato entre dos rótulos y montado sobre un dinamómetro. Obsérvese la fuerte inclinación del gato respecto al eje de la viga en estado de carga.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

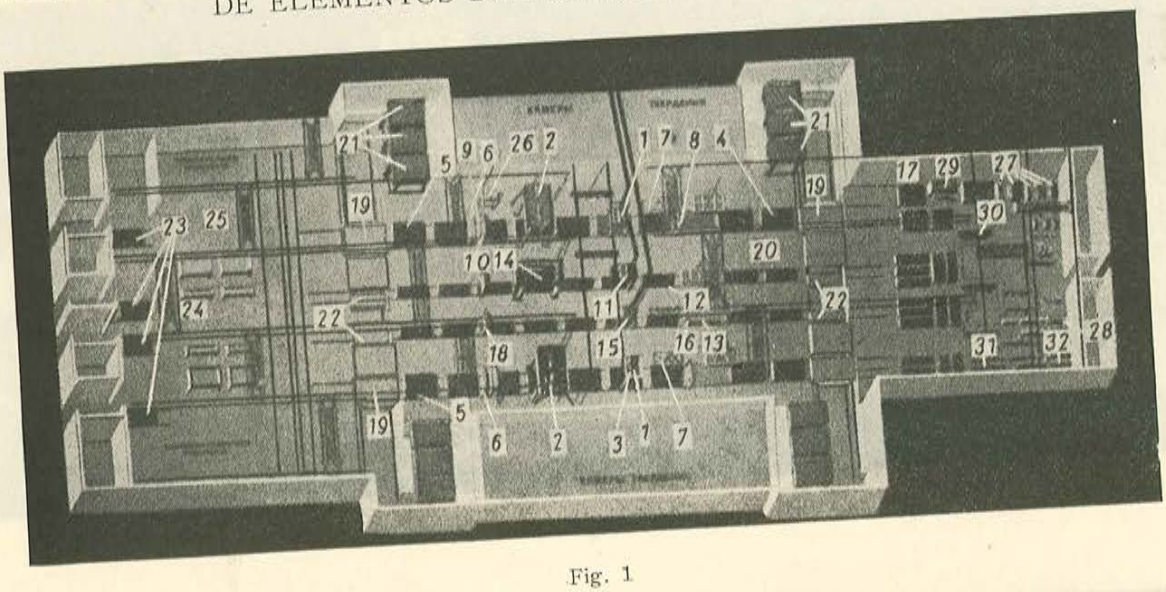

Fig. 1

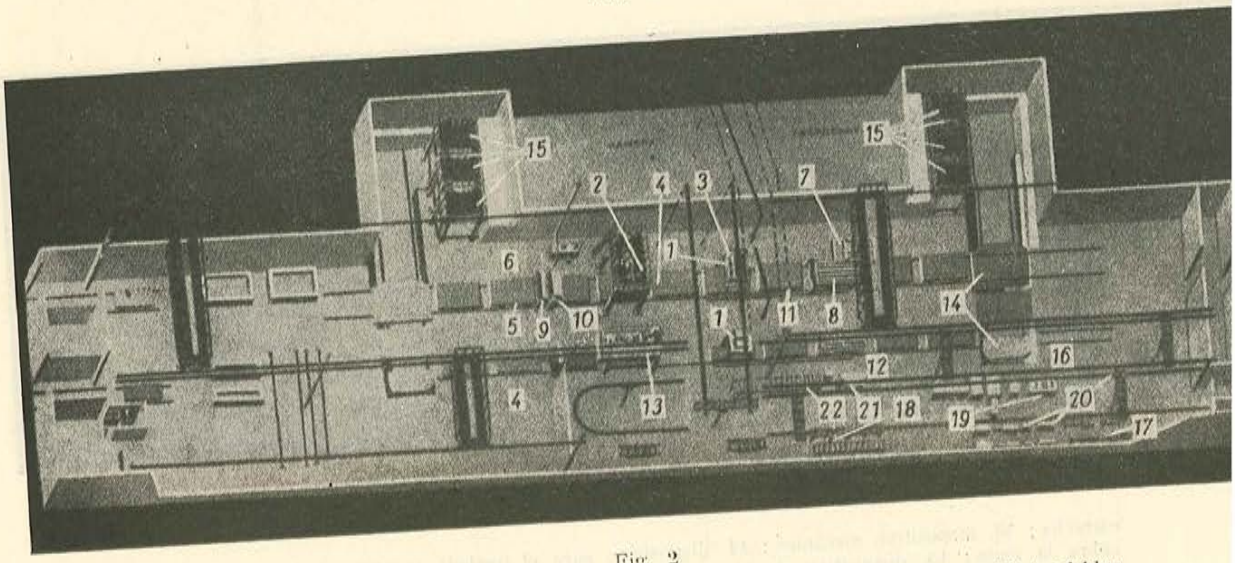

Fig. 2

Fig. 1.—Instalación de un taller de prefabricación de elementos pretensados en Kiefersfelden de 185.000 m³ de capacidad anual: 1, hormigonera; 2, máquina para la colocación de armadura; 3, silo de hormigón; 4, bastidor; 5, prensa; 6, dispositivo para los moldes interiores para losas huecas; 7, dispositivo para desencofrar sobre la cinta transportadora; 8, motor para la cinta transportadora; 9, cepillo móvil; 10, dispositivo para el engrase de la cinta; 11, hormigonera; 12, vibradora para la cinta estrecha; 13, vibradora de aguja; 14, dispositivo mecánico; 15, hormigonera SM-533; 16, motor para la cinta estrecha SM-533; 17, mecanismo de la cinta; 18, dispositivo para el engrase de la cinta estrecha; 19, dispositivo para el movimiento transversal sobre la cinta estrecha; 20, dispositivo de elevación sobre la cinta estrecha; 21, dispositivo de elevación sobre la cinta ancha; 22, dispositivo de elevación y movimiento transversal de elementos sobre la cinta estrecha; 23, camión; 24, mezcladora de mortero; 25, dispositivo de corrección de elementos prefabricados; 26, instalación para la manipulación de la grasa; 27, soldadura de armaduras; 28, soldadura de armadura en forma de cestos; 29, máquina para torcer las armaduras; 30, soldadura mecánica de la armadura; 31, soldadura de armaduras para tirantes.

Fig. 2.—Taller de prefabricación de 90.000 m³ de capacidad anual: 1, hormigonera; 2, máquina para armadura de losas; 3, silo de hormigón; 4, bastidor para moldes móviles; 5, prensa; 6, dispositivo para desencofrar los moldes interiores; 7, dispositivo para desencofrar las losas sobre la cinta ancha; 8, mecanismo de la cinta ancha; 9, dispositivo para el engrase de moldes; 10, cepillo móvil; 11, vibradora; 12, vibrador de aguja para la cinta

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

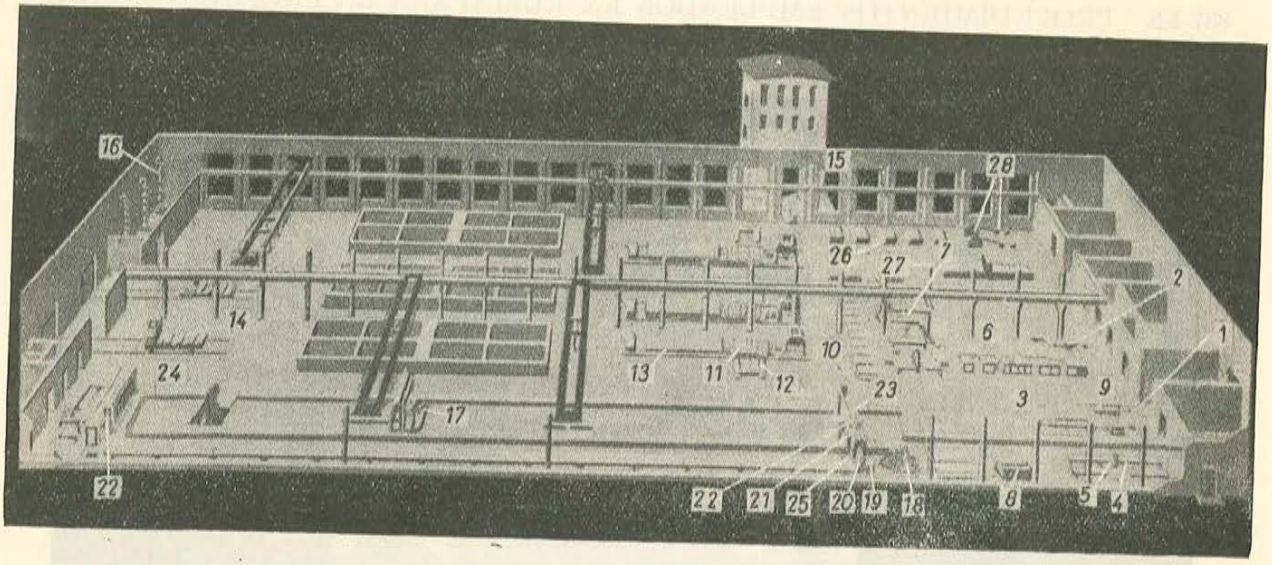

Fig. 3

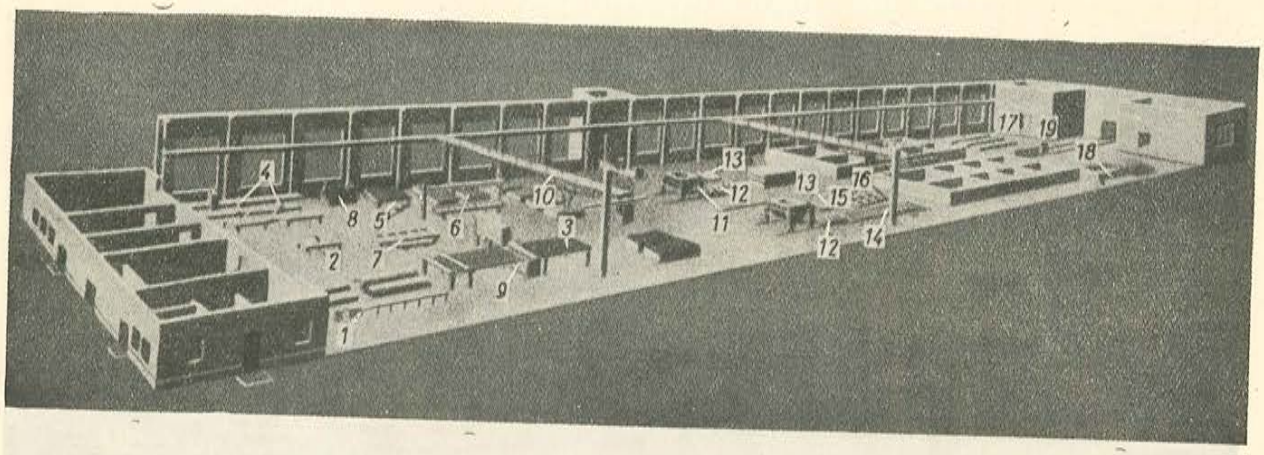

Fig. 4

estrecha; 13, dispositivo mecánico; 14, dispositivo para el traslado transversal de elementos sobre la cinta; 15, dispositivo de elevación; 16, cizalla mecánica; 17, cizalla automática; 18, soldadura mecánica por puntos; 19, soldadura automática; 20, soldadura de armaduras de forma cóncava; 21, máquina para torcer armaduras; 22, movimiento sobre rodillos.

Fig. 3.—Taller de prefabricación con una capacidad anual de 50.000 m³: 1, cizalla mecánica; 2, cizalla mecánica; 3, cizalla para redondos; 4, torcedora mecánica; 5, soldadura mecánica por puntos; 6, soldadura automática de armaduras cóncavas; 7, soldadura mecánica por puntos; 8, torcedora mecánica; 9, dispositivo de transporte para armaduras; 10, hormigonera; 11, mesa vibrante; 12, grúa móvil; 13, dispositivo para la fabricación de losas huecas; 14, transportador automático; 15, transportador eléctrico; 16, ventiladores para la cámara de curado; 17, cizalla automática; 18, hormigonera; 19, dispositivo para el montaje de armaduras; 20, dispositivo para encajar las armaduras; 21, dispositivo para tesar los cables; 22, dispositivo para el transporte; 23, dispositivo de apoyo; 24, dispositivo para tesar; 25, cizalla; 26, hormigón pretensado; 27, soldadura semiautomática; 28, máquina para la preparación de cables.

Fig. 4.—Taller de prefabricación de elementos de hormigón pretensado, de 25.000 m³ de capacidad: 1, cizalla mecánica; 2, cizalla manual; 3, soldadura mecánica por puntos; 4, torcedora mecánica; 5, transformador portátil para la soldadura; 6, soldadura mecánica por puntos; 7, dispositivo de transporte; 8, torcedora mecánica; 9, soldadura semiautomática; 10, puente grúa eléctrica de 5 t; 11, hormigonera para elementos hasta 20 m de longitud; 12, mesa vibrante; 13, dispositivo de elevación; 14, máquina para manipulación de moldes en la producción en serie; 15, vibrador; 16, cámaras de curado; 17, bancos para postesado; 18, espacio para la fabricación permanente de elementos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

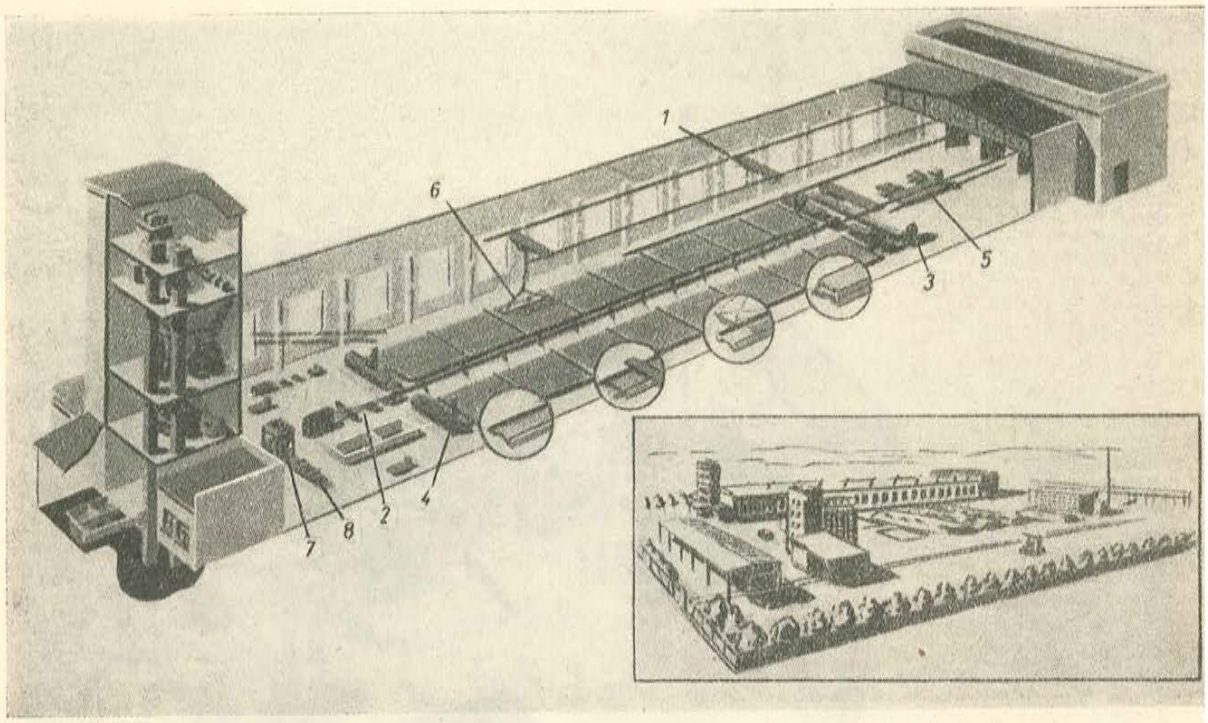

Fig. 5

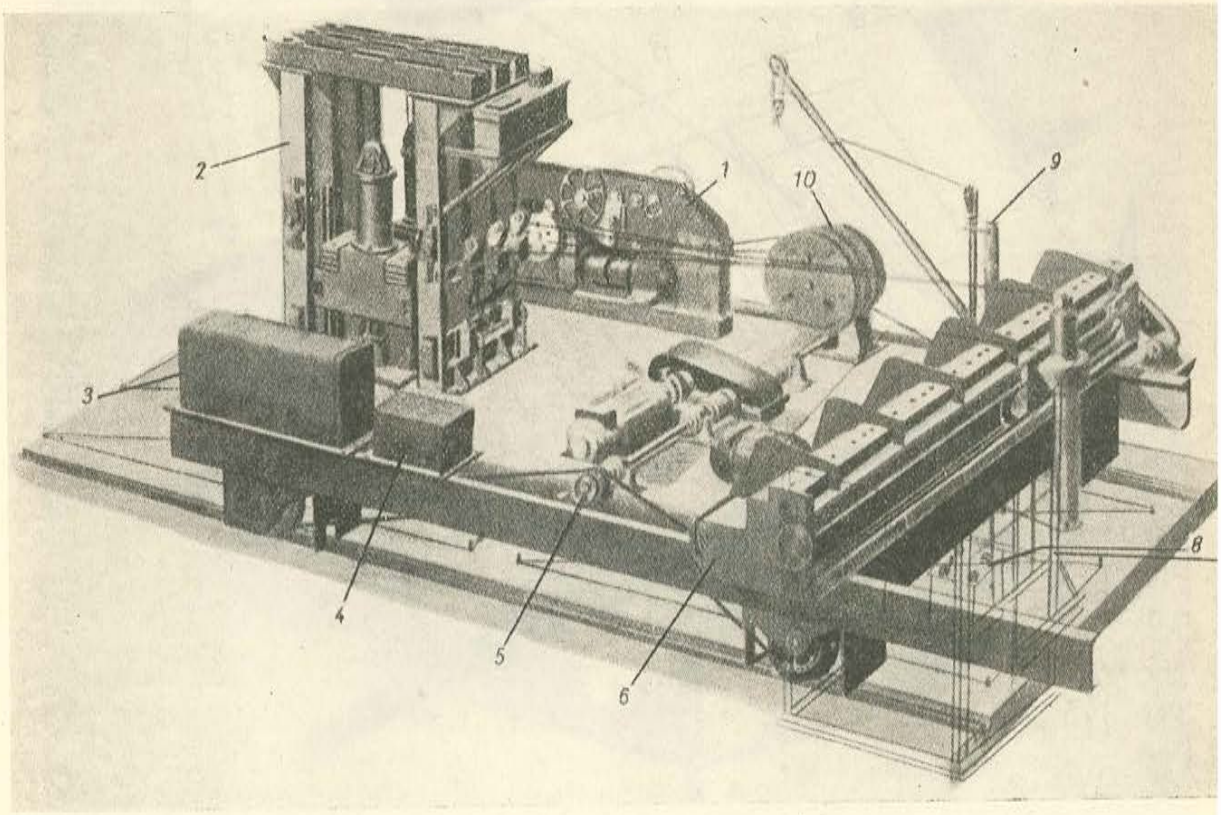

Fig. 7

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

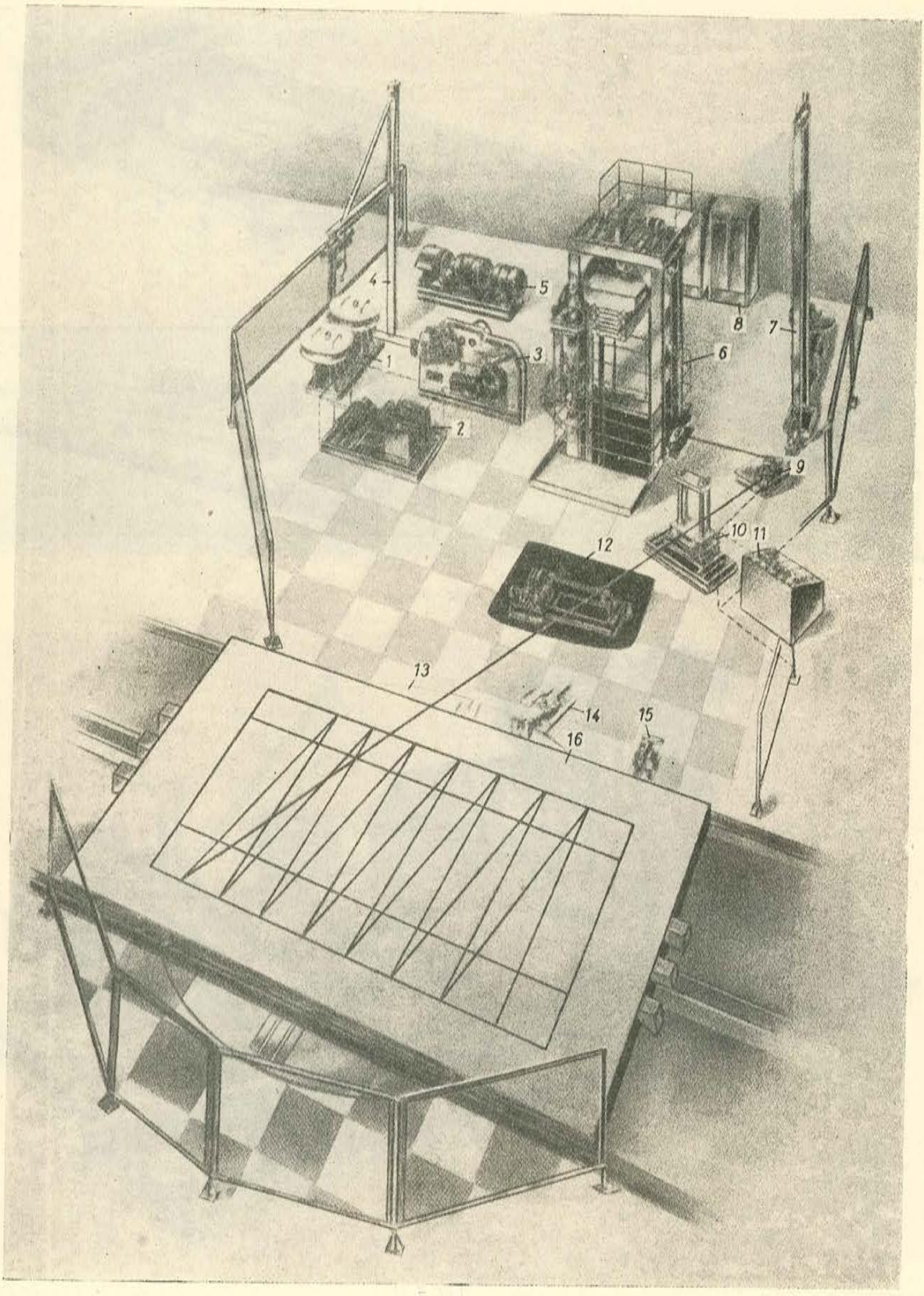

Fig. 6

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

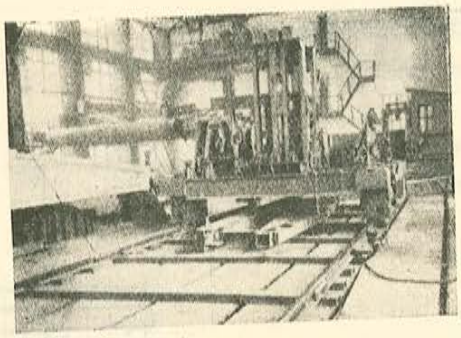

Fig. 8

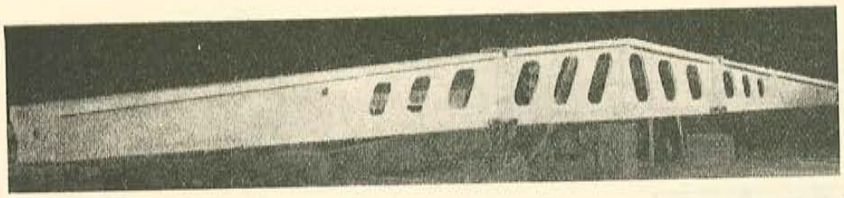

Fig. 9

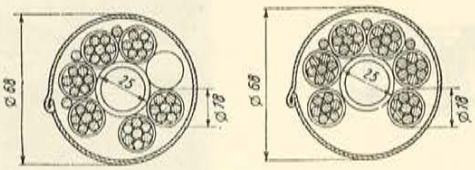

Fig. 10

Fig. 5.—Taller de prefabricación de postes telefónicos y para líneas eléctricas, con capacidad anual de 20.000 m³: 1, carril para grúa pórtico; 2, guía para el alambre; 3, dispositivo para recoger los elementos; 4, dispositivo hidráulico para el pretensado de la armadura; 5, dispositivo eléctrico para el transporte de materiales; 6, prensa vibrante; 7, repartidora de hormigón; 8, plataforma vibrante.

Fig. 6.—Bastidor giratorio. Características: 1, diámetro del alambre: 2,5 a 5 mm; y resistencia: 120/180 kg/mm; 2, número de alambres: de 1 a 2; 3, diámetro máximo de los carretes: 8 m; 4, fuerza máxima de tesado (alta tensión): 1.600 kg, fuerza máxima de tesado (baja tensión): 150 kg; 5, número de revoluciones del bastidor hasta 2,6; 6, velocidad del alambre: 1,03 m/s; 7, tensión de los alambres por contrapeso; 8, colocación del alambre automática o manualmente; 9, potencia de los motores eléctricos: 35 kW; 10, peso total: 31.000 kg. Leyenda: 1, torno para el carrete de alambre; 2, estación de bombeo; 3, regulación de marcha; 4, grúa móvil; 5, generadores; 6, dispositivo para el pretensado de la armadura inferior, fuerza de tesado de hasta 1.600 kg; 7, dispositivo para el pretensado de la armadura superior, fuerza de tesado: 150 kg; 8, puesto de mando; 9, poleas guía; 10, pantógrafo; 11, puesto de mando; 12, accionamiento de la mesa giratoria; 13, tablero del bastidor; 14, dispositivo para la fijación del bastidor; 15, base del encofrado.

Fig. 7.—Máquina para colocación de armaduras presentadas en obra: 1, regulación de marcha; 2, dispositivo de pretensado; 3, imán; 4, reostatos; 5, regulación del movimiento longitudinal; 6, regulación del movimiento transversal; 7, puesto de mando; 8, cuadro de mando; 9, grúa móvil; 10, carrete de alambre.

Fig. 8.—Tipo experimental de la máquina DN. 7.

Fig. 9.—Viga compuesta de tres elementos y armadura continua. Longitud total 22,5 m y fijación con tornillos.

Fig. 10.—Sección transversal de un cable y vaina de gran diámetro. La inyección se efectúa por los anclajes, dispone de tres ventosas y un alma de 25 milímetros.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

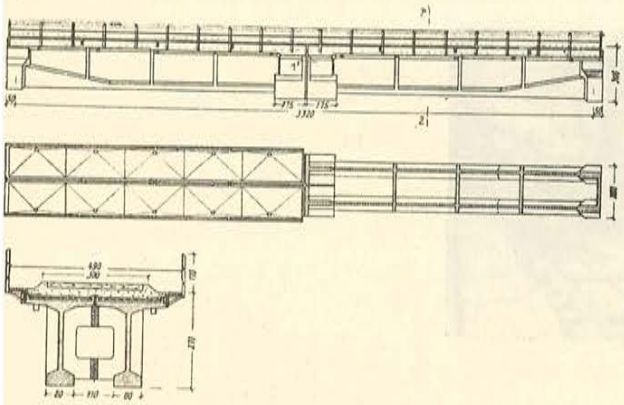

Fig. 11

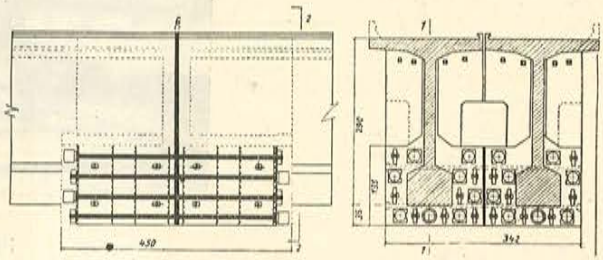

Fig. 12

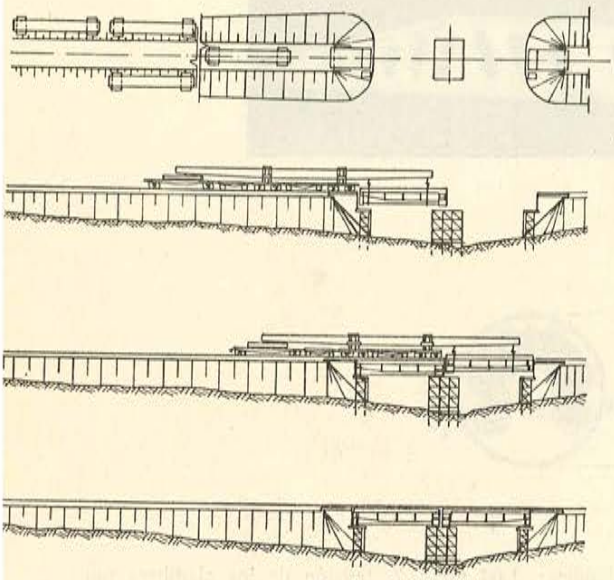

Fig. 13

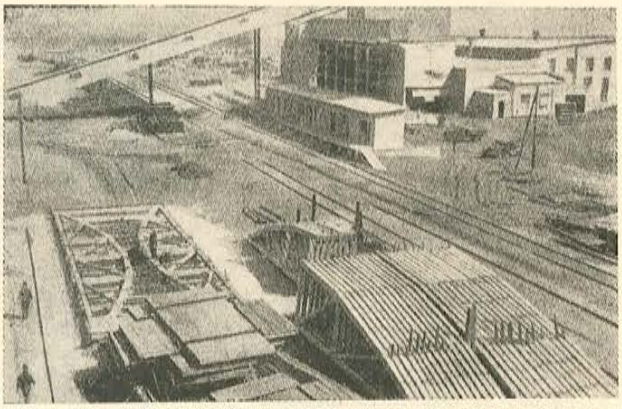

Fig. 15

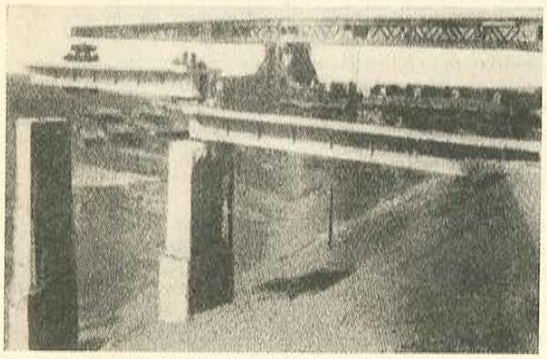

Fig. 14

Fig. 11.—Viga, de 33,2 m de luz, compuesta de elementos prefabricados.
Fig. 12.—Junta de una viga pretensada, de 11 m de luz, con fijación de elementos sistema ZNIIS.
Fig. 13.—Distintas fases del montaje de un puente.
Fig. 14.—Montaje de una de las vigas pretensadas de un puente con ayuda de una grúa eléctrica de 120 t de peso.
Fig. 15.—Elementos para vigas compuestas, de 27 m de longitud, con cables y anclajes sistema Freyssinet.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

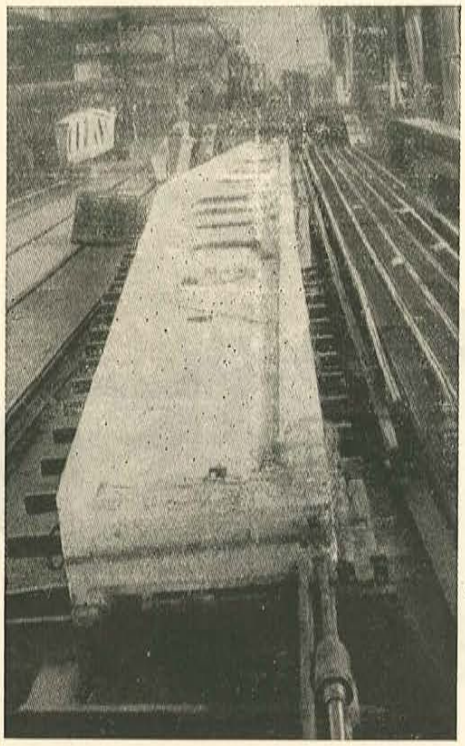

Fig. 16

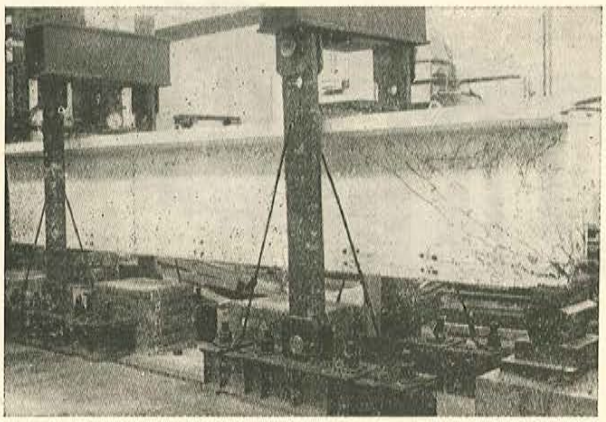

Fig. 17

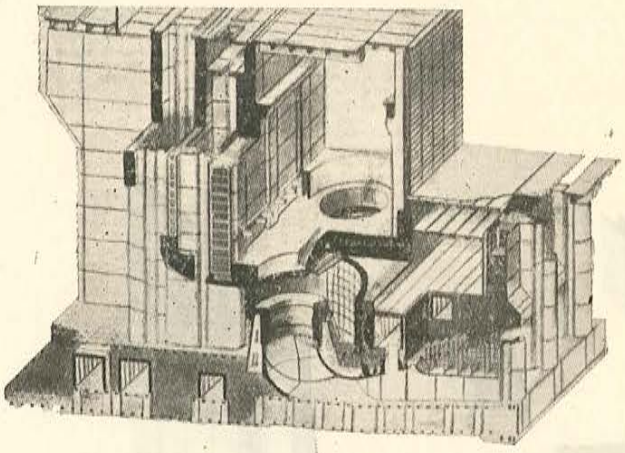

Fig. 19

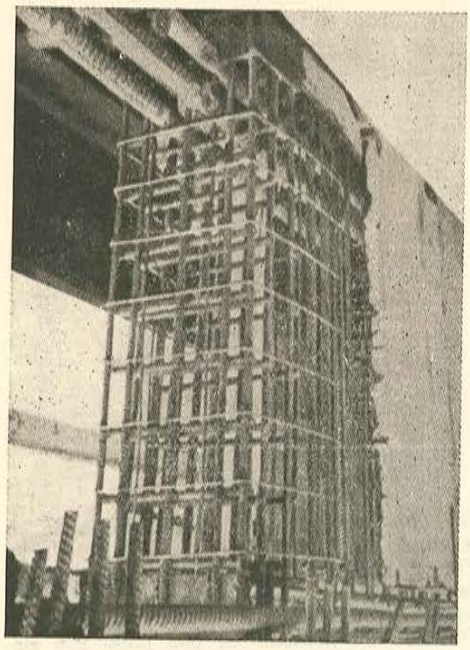

Fig. 18

Fig. 16.—Viga pretensada, de 24 m de luz, y armaduras especiales.
Fig. 17.—Viga de hormigón armado, de 6 m de luz, para la vía de grúas de 50 t, armada con redondos simples.
Fig. 18.—Apoyo de una viga pretensada destinada a servir de soporte de la vía de dos grúas de 50 t cada una.
Fig. 19.—Construcción de una central eléctrica con encofrados de hormigón armado y armaduras pretensadas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

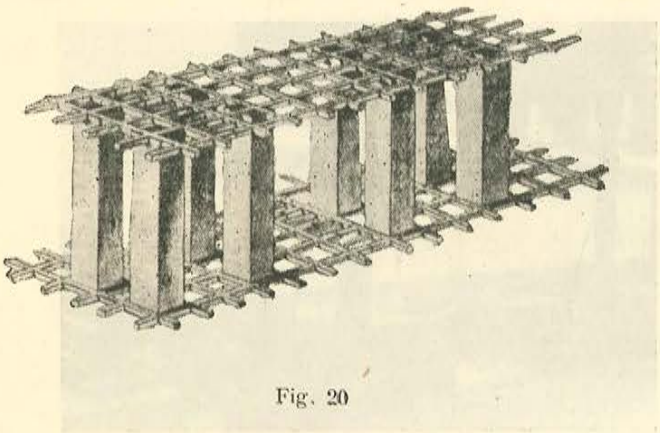

Fig. 20

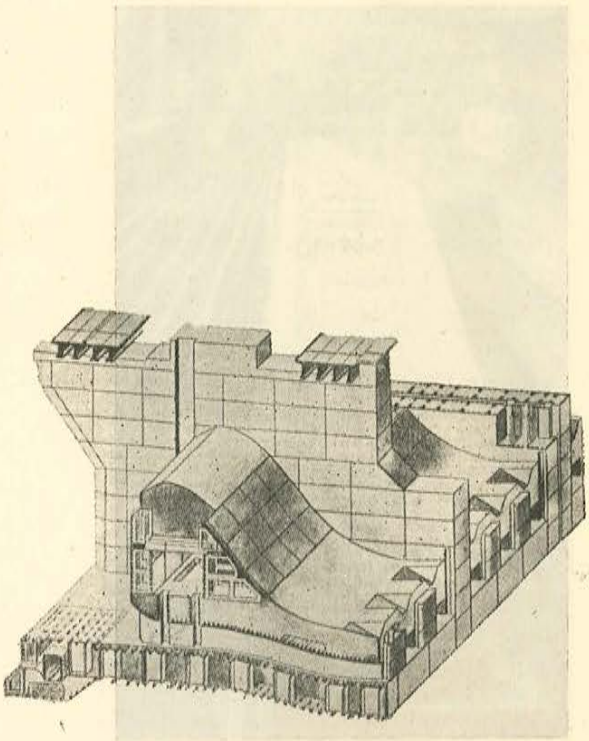

Fig. 22

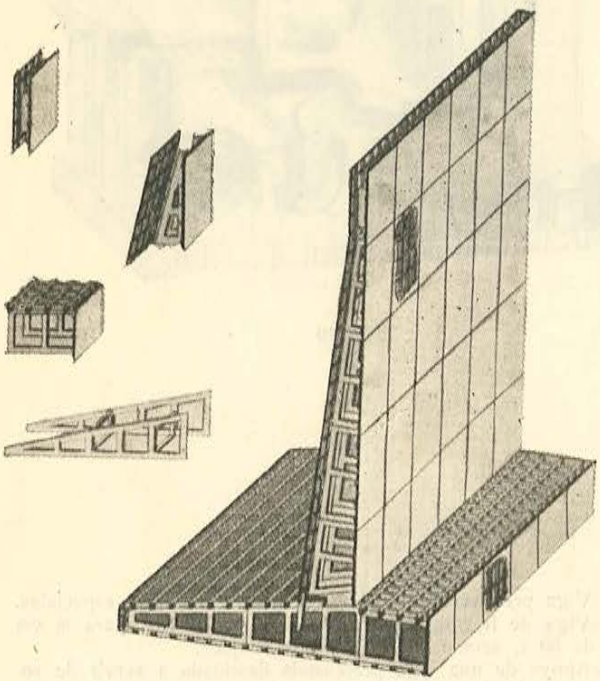

Fig. 21

Fig. 20.—Armaduras horizontales formando un reticulado.
Fig. 21.—Muro de contención de elementos de hormigón armado y pretensado con una armadura independiente.
Fig. 22.—Construcción de una presa con elementos de hormigón pretensado al unirlos con armaduras independientes.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025