



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-319 T.E.

24/13

Al Pasante señor JORGE MAURICIO ARROYO RIVAS,
P R E S E N T E .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Constancio Rodríguez Cabello, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"ASPECTOS GENERALES DEL PRESFUERZO Y LA PREFABRICACION DE ELEMENTOS DE CONCRETO"

1. Introducción.
2. Elementos pretensados.
3. Elementos postensados.
4. Prefabricación.
5. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, 10. de diciembre de 1981

EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE706LH/ser



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

INTRODUCCION AL PRESFUERZO

Trabajo escrito

Jorge Mauricio Arroyo Rivas

Presfuerzo y Prefabricado

Ing. Constancio Rodríguez

Ing. José María Rioboo.

México, D.F. Septiembre 1981

I N D I C E

- 1. INTRODUCCION AL PRESFUERZO. 1
 - 1.1. Desarrollo histórico 1
 - 1.2. Introducción, algunas definiciones sobre el presfuerzo. 11
 - 1.3. Clasificación de los elementos de concreto presforzado. 14
 - A. Según el tipo de presfuerzo. 14
 - 1.3.1. Presfuerzo interior o exterior
 - 1.3.2. Presfuerzo lineal o circular
 - 1.3.3. Pretensado
 - 1.3.4. Postensado
 - 1.3.5. Presforzado
 - 1.3.6. Presfuerzo parcial
 - B. Según el tipo de tendones. 18
 - 1.3.7. Tendones interiores
 - 1.3.8. Tendones exteriores
 - 1.3.9. Tendones con adherencia
 - 1.3.10. Tendones sin adherencia
 - C. Según la forma del anclaje 20
 - 1.3.11. Tendones anclados en los extremos
 - 1.3.12. Tendones no anclados en los extremos
 - D. Según la forma de fabricar el elemento 21
 - 1.3.13. Elemento precolado
 - 1.3.14. Elemento colado en el lugar

1.3.15. Elemento de construcción mixta	
1.4. Principios del concreto presforzado . . . . .	.23
1.5. Comportamiento de vigas de concreto. . . . .	.26
2. CONCRETO PRETENSADO . . . . .	.30
2.1. Forma de aplicar el presfuerzo . . . . .	.30
2.2. Instalaciones. . . . .	.34
2.2.1. Mesas de colado y muertos de anclaje	
I. Mesas fijas	
II. Mesas portátiles	
III. Moldes con capacidad para resis tir las fuerzas de presfuerzo	
2.2.2. Dispositivos para desviar tendones	
2.2.3. Dispositivos de anclaje	
2.2.4. Formas de tensar	
3. CONCRETO POSTENSADO . . . . .	.52
3.1. Procedimiento. . . . .	.52
3.2. Tipos de anclaje . . . . .	.53
3.2.1. Sistema BBRV	
3.2.2. Sistema CCL	
3.2.3. Sistema Freyssinet	
3.2.4. Sistema Prescon	
3.2.5. Sistema Ramza	

3.2.6. Sistema VSL

4. SISTEMAS ESPECIALES DE PRESFUERZO . . . . .	.61
4.1. Presfuerzo por medio de concretos expansivos . . . . .	.61
4.2. Presfuerzo eléctrico . . . . .	.61
4.3. Presfuerzo por embobinado. . . . .	.62
4.4. Presfuerzo circular. . . . .	.63
4.5. Presfuerzo externo . . . . .	.64
5. ANALISIS COMPARATIVO ENTRE EL CONCRETO PRETENSADO Y EL POSTENSADO. . . . .	.66
5.1. Pretensado . . . . .	.66
5.2. Postensado . . . . .	.67
BIBLIOGRAFIA . . . . .	.68

1. INTRODUCCION AL PRESFUERZO

1.1. DESARROLLO HISTORICO

Se puede decir que el principio del presfuerzo se aplicaba hace algunos cientos de años, cuando se enrollaban cables o cinchos metálicos en tiras separadas de madera para formar un barril o bien circundando ruedas de madera -- con cinchos metálicos; en ambos casos calentando el acero, deformándolo y colocándolo, para que al enfriarse produjera una acción de confinamiento en la madera y así producir un esfuerzo previo o presfuerzo en madera y acero.

No es de esperarse que el o los inventores de dichos métodos de construcción se propusieran lograr un cierto estado de esfuerzo en los materiales, como es el criterio -- que se tiene actualmente del presforzado, sino que utilizaban las ventajas del presforzado por su efecto favorable a la construcción, sin ningún principio razonado que rigiera las causas de dicho efecto. Dicho efecto favorable es la impermeabilidad en el barril y mejor unión entre superficie metálica de rodamiento y madera de las ruedas, lográndose esto al mantener siempre bajo compresión las uniones de los elementos que forman éstas piezas.

Una vez descubierta la versatilidad del concreto y -- que se introdujo plenamente en la construcción como concreto armado, surgieron algunos investigadores que estudiaron

la manera de evitar las grietas que aparecían en las piezas solicitadas a flexión, para ello pensaron en producir una compresión previa o presfuerzo en el concreto, por medio del acero de refuerzo; que al tensionarse y anclarse en los extremos producía dicho efecto.

Así, en el año de 1886, P.H. Jackson, ingeniero de San Francisco, California (EE.UU. de América) obtuvo una patente para la construcción de pavimentos de concreto y mampostería artificial, en la que introducía el uso de barras de acero tensado, ancladas con tuercas o con cuñas, para eliminar el agrietamiento del concreto producido por las tensiones que aparecen bajo las cargas. Dos años después, W. Doehring patentó en Berlin un sistema de construcción de losas, vigas y dinteles, en el que se introducía el uso de alambres tensados antes del colado de las piezas a fin de que la compresión producida en el concreto redujera su agrietamiento. Esta fué la primera idea de piezas precoladas de concreto presforzado.

Estas primeras ideas para aplicar fuerzas de compresión que eliminaran la aparición de grietas en el concreto no prosperaron en la práctica, debido a que los esfuerzos que se introducían en el acero eran tan bajos que se perdían al pasar el tiempo, debido al acortamiento de las piezas de concreto motivado por su contracción y por la deformación plástica del material bajo las cargas de compresión.

En 1908, C.R. Steiner de los EE.UU. de América paten-

tó un sistema para romper la adherencia entre las barras de acero y el concreto y poder retensar las barras posteriormente a fin de contrarrestar las pérdidas del presfuerzo causadas por las deformaciones diferidas del concreto. También patentó el empleo de barras de presfuerzo con inflexiones para ajustarse mejor a los requisitos estáticos de las estructuras. En 1925, R.C. Dill, también de los Estados Unidos, hizo ensayos para emplear barras de acero de alta resistencia, recubiertas para evitar su adherencia al concreto durante su fraguado. Después de que el concreto alcanzaba su resistencia, se tensaban las barras que se anclaban al concreto por medio de tuercas.

Estas experiencias aunque no se aplicaron en forma comercial, debido principalmente a razones económicas, muestran una mejor comprensión del fenómeno de deformación diferida del concreto.

Independientemente de los ensayos de Dill, en 1928, los ingenieros E. Freyssinet y J. Séailles patentaron en Francia y en otros países, la construcción de elementos de concreto presforzado con acero de alta resistencia, tensado a esfuerzos superiores a $4,000 \text{ Kg/cm}^2$, antes del colado del concreto. En esas patentes se reconocía y aclaraba la necesidad de emplear esos esfuerzos en el acero, para garantizar la permanencia de un presfuerzo en el concreto.

Además, E. Freyssinet tiene el mérito de haber trabajado con perseverancia desde el año de 1911 en la investi-

gación del fenómeno de la deformación diferida del concreto. Este distinguido ingeniero francés fué el primero en aclarar los fundamentos que gobiernan las deformaciones -- del concreto y en establecer qué influencias tienen dichas deformaciones en las estructuras de concreto presforzado.

Aprovechando la construcción del puente de Plougastel (tres arcos de concreto armado de 172.6 m cada uno), midió la deformación por contracción del concreto y pudo cerciorarse de la magnitud de éste fenómeno, insistió en el valor de los concretos de alta resistencia y promovió la compactación del concreto por medio de un vibrado enérgico, - condición que se considera indispensable en la construcción moderna del concreto presforzado.

Es por todo ello que se considera al ingeniero E. Freyssinet como el iniciador del desarrollo moderno del concreto presforzado.

En el año de 1929, E. Freyssinet construyó unas prensas hidráulicas, de concreto presforzado para la forja del acero, con capacidades de 2,000 y 10,000 Ton, y durante los años 1932 a 1934 fabricó postes y pilotes de concreto presforzado.

También en 1938, E. Hoyer, de Alemania, construyó en Hamburgo una cama de tensado para emplear alambres delgados (0.5 a 2.0 mm) y con alta resistencia para fabricar vigas de concreto presforzado en longitudes de 100 m, las que después de endurecidas se cortaban en las longitudes -

5

decadas. El anclaje de los alambres en las vigas se ha-
cía por adherencia.

Este sistema tuvo gran desarrollo posterior y hasta la fecha se emplea en la fabricación de piezas de concreto presforzado.

En el año de 1939, E. Freyssinet patentó un sistema - para la aplicación de presfuerzo a piezas de concreto, des-
pués de su endurecimiento. El sistema está formado por un cable de doce alambres de 5 o 7 mm colocados alrededor de un núcleo constituido por una espiral de alambre de acero- y colocado todo ello dentro de un tubo de lámina delgada.

Los doce alambres se tensan con un gato de doble ac-
ción y se anclan por medio de una cuña cónica de concreto-
contra la parte interior de un cilindro hueco de concreto.

El gato, que opera con agua a presión, primero tensa-
los alambres que se fijan al cilindro exterior en parejas-
por medio de cuñas, y una vez que se alcanza la deforma-
ción del cable y la presión manométrica deseada, con otro
pistón introduce la cuña macho a presión para anclar los -
alambres del cable.

A partir del año de 1939, y debido a la facilidad que
presenta la introducción del presfuerzo con el sistema --
Freyssinet, el número de obras de concreto presforzado fue
aumentando, aunque este incremento fue restringido por la
guerra.

Entre los años de 1940 a 1942 G. Magnel, de Bélgica,-

desarrolló el sistema de presfuerzo que lleva su nombre, - formado por un cable de alambres paralelos, contenidos en un ducto con separadores y los cuales, una vez tensados, - se anclaban en sus extremos por pares, con cuñas de acero- contra placas de acero. También fue Magnel el primero en señalar la gran diferencia que hay entre las cargas de rup- tura de piezas con alambres adheridos al concreto y en aque- -llas en que no se ligaban, como era lo usual en aque- -llos días. Aclaró también el efecto especial del presfuer- zo en las estructuras hiperestáticas y aprovechando estas- bases construyó en 1948 el puente Sclayn, con dos claros - de 62 m. Fue también Magnel el primero en aclarar el pan- deo de columnas con cables de presfuerzo adheridos a la -- pieza.

En el año de 1940, se construyeron en Pakistán los -- primeros cascarones presforzados. Se trataba de bóvedas - cilíndricas que se presforzaron por medio del sistema de - Freyssinet.

En Inglaterra, P.W. Abeles desarrolló durante los a- ños de 1942 a 1943 la fabricación de piezas de concreto -- precoladas en las que dejaba unas ranuras para colocar los alambres de acero de alta resistencia. Una vez tensados - los alambres, se llenaban las ranuras con concreto para -- adherirlos al resto de la pieza. Este sistema se usa has- ta la fecha en la fabricación de vigas presforzadas de blo- ques.

En el año de 1944, G. Magnel inició en Bélgica, la construcción del primer puente ferroviario de concreto presforzado, el puente "El Espejo", el cual debido a la guerra se terminó hasta 1948. Sin embargo, las trabes de ensayo que se hicieron con motivo de esta obra produjeron valiosas explicaciones sobre la inyección de los ductos con lechada de cemento, la adherencia del acero de presfuerzo y la seguridad a la ruptura.

Poco después, en el año de 1946, se principió la construcción de la primera pista de aterrizaje de concreto presforzado, en el aeropuerto de Orly, en París, según el proyecto del Ing. E. Freyssinet. La losa tiene 60 m de ancho, 420 m de largo y un espesor de 16 cm, y está presforzada longitudinal y transversalmente, empleando sólo cables transversales. El presfuerzo longitudinal se logró introduciendo una serie de juntas móviles diagonales a 45° en planta y unos estribos extremos anclados en el terreno para obtener una compresión longitudinal al presforzar transversalmente.

Al terminar la guerra en Europa, un gran número de puentes se encontraban destruidos y para reconstruirlos se empleó en gran escala el concreto presforzado.

Así se construyeron en Alemania entre 1947 y 1950 los puentes sobre el canal del puerto de Neckar, uno con un arco de tres articulaciones de 108 m de claro y otro con una trabe continua de 96 m de claro central.

to. También se usó el concreto presforzado en la construcción de grandes bóvedas y fábricas, por medio de cables.

En el año de 1948 en los Estados Unidos, la compañía Preload desarrolló una máquina para presforzar tanques cilíndricos de concreto, enrollando alrededor del concreto un alambre continuo de acero de alta resistencia a tensión, en vueltas sucesivas. Posteriormente ese acero se recubre con concreto.

Es también en 1948, cuando E. Freyssinet construye unos tanques rectangulares para agua, en Orleans, y el primer puente de concreto presforzado en Suramérica con catorce tramos de 37.5 m de claro de traves precoladas, cerca de Río de Janeiro, Brasil (Puente Galión).

Ese mismo año el Ing. R. Morandi desarrolló el primer sistema italiano para el anclaje de pares de alambres por medio de cuñas cónicas de acero.

En el año de 1949, cuatro ingenieros suizos: M. Birkenmayer, A. Brandestini, M. Ros y K. Vogt, patentaron el sistema de presfuerzo BBRV, en el que el cable se forma con alambres paralelos de acero de alta resistencia. El anclaje se realiza contra placas de acero por medio de las cabezas que se forman por estampado en frío en los extremos de los alambres. Ese mismo año, los ingenieros P. Leonhardt y W. Baur desarrollaron un sistema de presfuerzo en el que todos los alambres se reúnen en pocos ductos y se anclan por adherencia en bloques extremos de concre--

bres de concreto presforzado de 34 m de claro cada uno. -
La superestructura del puente está formada por siete tra-
bes presforzadas que se fabricaron en un patio. El pres-
fuerzo se dió con alambres de acero de alta resistencia --
que se anclaron por parejas con cuñas de acero. Las tra-
bes, después de montadas en su sitio, se ligaron transver-
salmente presforzando los diafragmas y los patines superio-
res que forman la losa de la calzada. Su construcción se
terminó en el año 1953. En ese mismo año se pusieron en -
servicio otros dos pequeños puentes de 12 m de claro, cons-
truidos con traveses de concreto y presforzados con alambres
de alta resistencia, en el camino vecinal Maravatio-Irimbo.

En el año de 1956 se termina la reconstrucción del -
puente internacional sobre el río Bravo entre Nuevo Laredo
Tamps. y Laredo, Tex. El puente tiene siete claros contí-
nuos, con claro máximo de 45.8 m. Las traveses se fabrica-
ron en secciones para los dobles voladizos y traveses suspen-
didas de 27.5 m de claro, que se apoyan en los extremos de
los dobles voladizos. La continuidad se logró introducién-
do cables de presfuerzo através de las juntas. El siste-
ma de presfuerzo que se usó en su construcción fué BBRV.

En realidad, en México, no fué hasta 1955 cuando se
utilizó en forma constante el concreto presforzado, siendo
que en la actualidad, tanto el sector público como el pri-
vado, tienen y usan toda una tecnología para sistemas de
concreto pretensado o postensado en todo el país.

1.2. INTRODUCCION, ALGUNAS DEFINICIONES SOBRE EL PRESFORZADO

"Presforzar significa la creación intencional de esfuerzos permanentes en una estructura o armadura, con el objeto de mejorar su comportamiento y resistencia bajo diversas condiciones de servicio ..." , así es como T.Y. Lin define el presfuerzo. Esto nos da la idea, de qué es lo que se pretende al utilizar el concreto presforzado.

Ya sabemos que el concreto como material estructural, tiene muy baja resistencia a los esfuerzos de tensión, la cual es comunmente despreciada dado que existen esfuerzos de tensión inducidos por efectos internos en el concreto - como son: cambios de temperatura por el fraguado o por las condiciones atmosféricas, dilataciones y contracciones , - etc., los cuales absorben completamente la poca resistencia a la tensión que el concreto pueda tener.

Es por esto que en un principio se buscó algún material que le ayudara a soportar los esfuerzos de tensión que se presentaban, naciendo así el concreto reforzado convencional. Sin embargo, esta solución para proporcionar la resistencia necesaria a la tensión, no impide que bajo condiciones muy altas de carga se sigan presentando estados de agrietamientos y deformación considerables.

A raíz de esto surgió la idea de utilizar el concreto presforzado, que según el ingeniero francés Eugene Freyssier

net significa: "crear en un elemento estructural, mediante algún procedimiento, antes o al mismo tiempo que la aplicación de las acciones exteriores, esfuerzos tales que, al combinarse con los correspondientes a las cargas exteriores, anulen los esfuerzos de tensión o los mantengan menores que los esfuerzos permisibles de los materiales empleados", definición muy anterior a la del Ing. T.Y. Lin, la cual sufrió modificaciones, debidas al creciente uso en todo el mundo del presfuerzo y a los nuevos criterios de diseño, donde ya no es indispensable eliminar totalmente el agrietamiento.

El Comité del Concreto Presforzado (PCI) del American Concrete Institute nos da una definición que se apega a -- los nuevos criterios de diseño, según la cual: "El concreto presforzado, es el concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución -- que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado. Siendo que en miembros de concreto reforzado, se introduce comunmente, el -- presfuerzo dando tensión al refuerzo de acero."

La forma más común para aplicar el presfuerzo es por medio de tendones de acero internos, los cuales se tensan o presfuerzan y a continuación se anclan; aunque en la actualidad el acero de alta resistencia es el material utilizado universalmente para los tendones, se continúan investigando y desarrollando materiales para tendones como la --

fibra de vidrio, etc. que pueden colocarse en el exterior, como un tirante o un arco estirado; el prefuerzo puede introducirse también por medio de una fuerza exterior, como la de un gato aplicado en la parte superior de un arco o en los extremos de una losa de pavimento.

El principio en que se basa el prefuerzo no está limitado solamente a la precompresión; se están estudiando algunas aplicaciones en donde convendría introducir un prefuerzo de tensión, durante alguna etapa particular, para contrarrestar la compresión excesiva.

Actualmente, el prefuerzo se ha aplicado a otros materiales como son: las armaduras de acero, mamposterías de cerámica y tabique, maderas, rocas y suelos naturales. El prefuerzo puede utilizarse para resistir los esfuerzos de tensión ocasionados por las cargas aplicadas; como en la trabe de un puente, y también los esfuerzos y deformaciones por tensión que ocasionan las ondas dinámicas (como en el hincado de pilotes o vibraciones de maquinaria), los esfuerzos por temperatura (como en los recipientes a presión), la contracción, la tensión directa y el cortante (tensión diagonal).

artificiales, a menos de que puedan reajustarse.

Para una estructura estáticamente indeterminada, como una viga continua (ver fig. 1.3.1.b.), es posible ajustar el nivel de los apoyos, insertando gatos, y de este modo - producir las reacciones más favorables. Esto es práctico - algunas veces, aunque debe tenerse en cuenta que la con--- tracción y la deformación plástica del concreto modifica--- rán los efectos de tal presfuerzo, por lo que deben tomar- se en consideración, o bien ajustar el presfuerzo de vez - en cuando. Este tipo de presfuerzo, por lo general sólo- se aplica a pavimentos, arcos y pedestales.



Figura 1.3.1.b.

1.3.2. PRESFUERZO LINEAL O CIRCULAR

El presfuerzo circular es un sobrenombre aplicado a - estructuras circulares presforzadas, como tanques redondos, silos y tubos, en que los cables del presfuerzo se enro--- llan en círculos.

El término presfuerzo lineal, a menudo se emplea para incluir todas las demás estructuras, como vigas y losas. - Los cables del presfuerzo en estructuras linealmente pres- forzadas, no son rectos necesariamente; pueden ser o dobla- dos o curvos, pero no se colocan alrededor y en círculos -

como en el presfuerzo circular.

1.3.3. PRETENSADO

El pretensado es la aplicación de un presfuerzo por medio del tensado de los tendones en contra de las reacciones exteriores, lo cual se efectúa antes de que endurezca el concreto fresco; luego se deja que el concreto fragüe hasta un alto porcentaje de su resistencia última, entonces los tendones se sueltan para transmitir el esfuerzo al concreto.

En casi todos los casos los torones de alta resistencia se extienden entre dos apoyos y se estiran por medio de gatos, hasta un 75% de su resistencia última; entonces, el concreto se cuele en cimbras que están alrededor de los tendones. El curado se acelera por medio de vapor a baja presión y se sueltan entonces los tendones, de manera que el esfuerzo se transmite por adherencia al concreto. Los tendones alargados se acortan ligeramente, precomprimiendo y acortando la longitud del concreto.

Comúnmente el pretensado se aplica más a elementos de concreto precolado, fabricados en planta. Los productos típicos que se producen por pretensado son losas de techo y piso, pilotes, postes, trabes de puente, paneles de muro y durmientes de ferrocarril. El presfuerzo se ha aplicado poco al concreto colado en sitio, en sus formas de pavimentos y losas de piso.

1.3.4. POSTENSADO

Postensado es la aplicación del presfuerzo, presforzando y anclando tendones al concreto una vez que éste ha fraguado.

Comúnmente, los ductos se forman por medio de tubos dentro del cuerpo del concreto.

Una vez que el concreto ha fraguado y alcanzado una resistencia suficiente los tendones se insertan en ductos formados por tubos dentro del cuerpo del concreto, y se alargan por medio de gatos, después se les colocan anclas para transmitir através de éstos la carga de los gatos a los extremos del miembro de concreto.

El postensado se aplica más comúnmente a miembros de concreto precolado y a los que tienen curvaturas complejas; entre las construcciones presforzadas con éste método se encuentran puentes, trabes largas, losas de piso, techos, cascarones, pavimentos y recipientes a presión. El postensado es extremadamente versátil y casi sin limitaciones de tamaño, longitud o rango de esfuerzos. También se puede utilizar para productos fabricados en planta, pero es más caro que el pretensado si se quiere producir en serie, considerándolo por unidad de fuerza de presfuerzo.

1.3.5. PRESFORZADO POR ETAPAS

Presforzado por etapas es el método utilizado para aplicar la fuerza de presfuerzo en dos o más pasos, lo cual

se hace para evitar un sobreesfuerzo o agrietamiento del concreto durante la fase de construcción, antes de aplicar más carga muerta.

1.3.6. PRESFUERZO PARCIAL

El presfuerzo parcial es una filosofía de diseño en la cual el gato de presfuerzo se mantiene intencionalmente bajo; por lo general, el propósito es suministrar una compresión residual (tensión nula) bajo cargas normales de -- servicio, pero permitiendo tensión y aún agrietamientos en menor grado bajo sobrecargas ocasionales.

B. SEGUN EL TIPO DE TENDONES

1.3.7. TENDONES INTERIORES

Tendones interiores son aquellos que se empotran dentro de la sección transversal del miembro de concreto y -- pueden ser pretensados o postensados. Por lo general se -- hará referencia a tendones postensados, localizados dentro de ductos ahogados en el concreto.

1.3.8. TENDONES EXTERIORES

Tendones exteriores son los que permanecen fuera de -- la sección transversal del miembro de concreto al tiempo -- de colarlo; pueden ligarse después a dicho miembro por medio de concreto adicional o relleno de lechada de cemento.

Los tendones exteriores pueden colocarse en ranuras o canales en los lados del miembro de concreto; por ejemplo, en una trabe en cajón, se pueden colocar dentro del hueco de ésta.

1.3.9. TENDONES CON ADHERENCIA

Tendones con adherencia son los que están totalmente adheridos al concreto en toda su longitud; los tendones -- pretensados son casi siempre de este tipo. En esta clasificación se pueden considerar también los tendones postensados, pequeños y de tamaños moderados que se colocan dentro de ductos con relleno.

Los tendones exteriores pueden considerarse adheridos si se suministran estribos y relleno de lechada de cemento para transmitir totalmente el cortante en toda su longitud. Algunas veces los cables adheridos se dejan a propósito -- sin adherir, en ciertas porciones de su longitud.

1.3.10. TENDONES SIN ADHERENCIA

Tendones sin adherencia son aquellos cuya fuerza se aplica al miembro de concreto sólo en los anclajes. Intencionalmente se evita la adherencia en toda su longitud; -- cuando un tendón postensado se introduce en un ducto, éste se puede rellenar con un compuesto bituminoso, envolverse con papel y después colocarse en las cimbras, colando y curando a continuación el concreto y estirando por último el

tendón. En este caso puede existir hasta cierto grado una adherencia mecánica en los dobleces, pero el tendón se considera básicamente sin adherencia. Los cables no adheridos, deben protegerse contra la corrosión, ya sea inyectando lechada de cemento, engrasando o por cualquier otro medio.

Los tendones exteriores, colgantes, tirantes presforzados, etc., se consideran por lo general sin adherencia, excepto cuando se sujetan en el miembro de concreto a intervalos cortos, por medio de estribos y lechada de cemento.

C. SEGUN LA FORMA DEL ANCLAJE DE LOS TENDONES EN EL ELEMENTO

1.3.11. TENDONES ANCLADOS EN LOS EXTREMOS

Generalmente en el postensado, el anclaje en los extremos del elemento, una vez tensados los tendones, se hace por medio de dispositivos mecánicos que transmiten el presfuerzo al elemento.

1.3.12. TENDONES NO ANCLADOS EN LOS EXTREMOS

Generalmente en el pretensado, los tendones transmiten el presfuerzo al elemento de concreto, por simple adherencia y a todo lo largo de la pieza; aunque como ya se ha hablado, pueden existir zonas de adherencia nula.

D. SEGUN LA FORMA DE FABRICAR EL ELEMENTO

1.3.13. ELEMENTO PRECOLADO

Un elemento de concreto precolado incluye la colocación del concreto lejos de su posición final, colándose el o los elementos en plantas permanentes o algo cerca del sitio de la estructura, y eventualmente erigida en la localización final. El precolado permite mejor control en la producción en masa y con frecuencia es económico.

1.3.14. ELEMENTO COLADO EN EL LUGAR

Los elementos de concreto colados en su sitio requieren más moldes y más obra falsa por unidad de producto, pero economizan el costo del transporte y erección. Es una necesidad tratándose de elementos grandes y pesados.

1.3.15. ELEMENTO DE CONSTRUCCION MIXTA.

A menudo es económico precolar parte de un elemento, erigirlo, y colar entonces la porción restante en el lugar. Los elementos precolados en una estructura de construcción mixta, pueden unirse más fácilmente que los de una estructura totalmente precolada. Mediante la construcción mixta, es posible economizar gran cantidad de los moldes y de la obra falsa que se requiere para una estructura totalmente colada en su lugar. Sin embargo, la conveniencia de cada tipo debe estudiarse con respecto a las condiciones parti-

Para ilustrar de una manera sencilla el principio de
 un campo eléctrico, vamos a estudiar una viga de carga
 positiva, de sección rectangular como la que se muestra en
 continuación:



Considerando un elemento diferencial dx , tendremos que
 debido a la carga positiva q , en la sección diferencial dx
 (centro del claro), se presentará un campo eléctrico
 que en las fibras superiores, valdrá

$$E = \frac{q}{2\epsilon_0} \frac{dx}{r^2} = \frac{q}{2\epsilon_0} \frac{dx}{(h/2)^2}$$

$$E = \frac{q}{2\epsilon_0} \frac{dx}{(h/2)^2} = \frac{q}{2\epsilon_0} \frac{dx}{h^2/4} = \frac{2q}{\epsilon_0 h^2} dx$$

Este campo eléctrico E produce una fuerza F sobre
 una carga q que actúa sobre la fibra superior, que
 produce una deformación de la fibra superior, que
 produce una deformación de la fibra superior, que
 produce una deformación de la fibra superior, que

$$f_{i,s} = \frac{P}{A} \pm \frac{P e}{S} \pm \frac{N}{S} = \frac{10,000}{10 \times 20} \pm \frac{10,000 \times 3.3}{667} \pm 100$$

$$f_i = 50 + 50 - 100 = 0 \quad \text{y} \quad f_s = 50 - 50 + 100 = 100 \text{ Kg/cm}^2$$

Vemos que utilizando una fuerza de menor magnitud, --
excentricamente, los esfuerzos de tensión debidos a la car-
ga externa se anularon, mientras que los esfuerzos de com-
presión, solo quedaron los debidos a la carga externa, sin
aumentar los debidos al presfuerzo, ya que éstos se anula-
ron al estar aplicada la fuerza de presfuerzo en el límite
del núcleo central. Vemos también que el valor de los es-
fuerzos a compresión, quedó como la mitad de los esfuerzos
que se presentaron en el caso anterior.

Resumiendo, podríamos decir que para presforzar una -
viga de concreto, se debe aplicar una fuerza cuya magnitud
depende de la excentricidad de la fuerza de presfuerzo con
respecto al eje neutro; a mayor excentricidad, menor será
dicha fuerza.

La economía que resulta de aplicar la fuerza de pres-
fuerzo excentricamente se nota obvia, aunque una mayor eco-
nomía se puede lograr cuando se permiten pequeños esfuer-
zos de tensión en las fibras superiores, éstos esfuerzos -
de tensión pueden deberse al presfuerzo o a la combinación
de él y cualquier otra carga externa actuando al mismo ---
tiempo.

1.5. COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO PRESFORZADO

En general, una viga de concreto presforzado con presfuerzo excéntrico tiene una curva carga-deformación como - la representada en la fig. 1.5., con un tramo prácticamente recto y uno curvo.

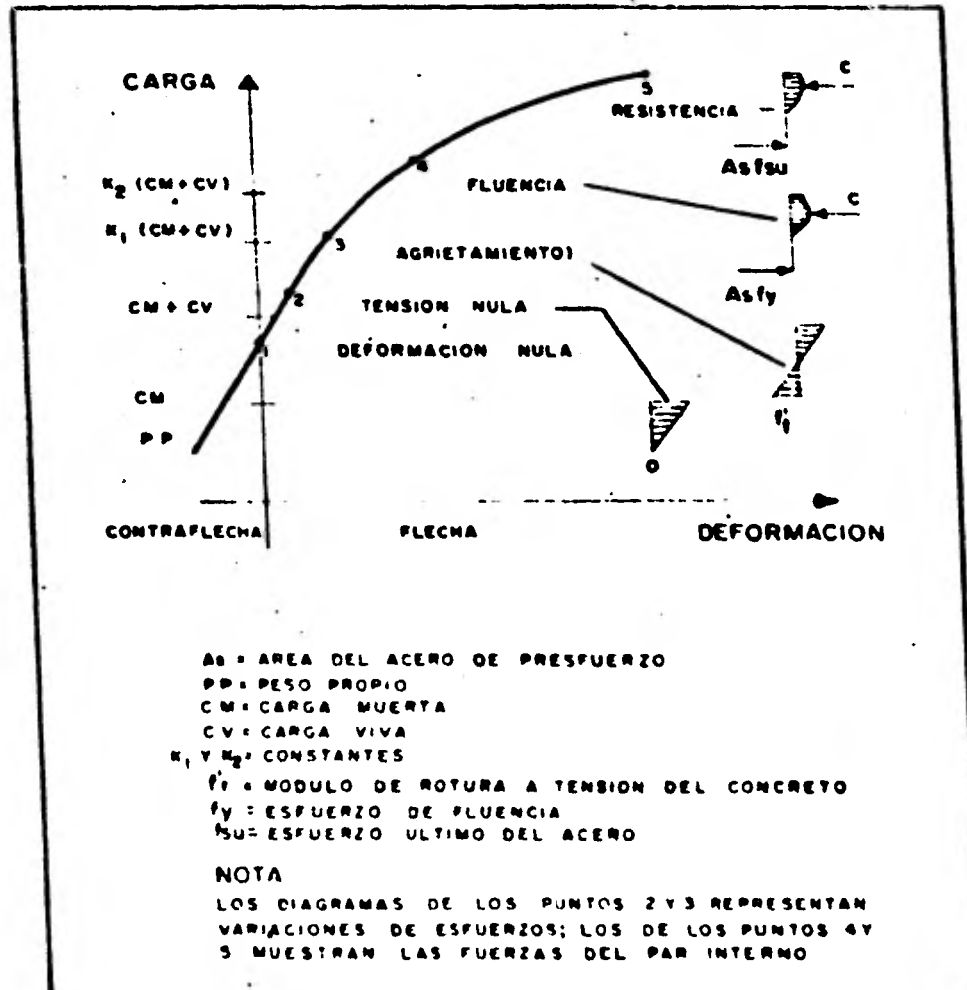


Figura 1.5.

El tramo recto, que indica un comportamiento lineal, se inicia en la región de deformaciones negativas, lo que significa que, debido a la acción del presfuerzo, se producen deformaciones hacia arriba (contraflechas), que no se contrarrestan totalmente por el peso propio y algún porcentaje de la carga total.

El punto 1 de la curva representa la condición de deformación nula, en que las deformaciones correspondientes a las cargas exteriores quedan totalmente equilibradas por las producidas por el presfuerzo. Esta condición se presenta, por ejemplo, cuando la combinación de los esfuerzos debidos a cargas exteriores y al presfuerzo produce un bloque de esfuerzos uniformes en todas las secciones de la viga.

El punto 2 de la curva resulta cuando los esfuerzos de tensión son nulos en la fibra inferior de la sección crítica de la viga. Durante mucho tiempo, los proyectistas de elementos de concreto presforzado consideraron que no debería excederse esta condición.

Si la carga se incrementa, se llega al punto 3, correspondiente a la carga de agrietamiento, que se presenta cuando los esfuerzos de tensión en la fibra inferior de la sección crítica coinciden con el módulo de rotura de concreto. Este es un punto notable en el comportamiento de los elementos de concreto presforzado, debido a que corresponde a la iniciación del agrietamiento. Una vez sobrepasa-

sada la carga de agrietamiento, las deformaciones dejan de ser proporcionales a las cargas y la curva carga-deformación exhibe un quiebre marcado.

El punto 4 corresponde a la carga que hace que el acero alcance su esfuerzo de fluencia.

El punto 5 representa la resistencia de la sección, es decir, su capacidad máxima en flexión.

En la gráfica se indican sobre el eje vertical diversos estados de carga típicos, correspondientes a distintos estados de deformación y agrietamiento.

Idealmente, el diseño de elementos de concreto reforzado debe basarse en el conocimiento de la curva completa carga-deformación. Si se puede predecir esta curva, el proyectista está en condiciones de dimensionar la viga, de manera que cuente con un grado de seguridad a la ruptura predeterminando y que tenga un comportamiento adecuado bajo cargas de servicio. Así, comparando la resistencia que puede desarrollar una sección con la carga de servicio que debe soportar, tendrá una idea del grado de seguridad con que cuenta. Conociendo las relaciones entre las cargas y las deformaciones para distintos niveles de carga, puede mantener las deformaciones probables de la viga dentro de valores convenientes. Análogamente puede lograr que el agrietamiento no exceda de unos límites que se consideran aceptables.

Debe señalarse que un problema de especial dificultad

en el estudio del comportamiento de elementos estructura--
les presforzados es la predicción de las variaciones que -
experimenta el presfuerzo inicialmente aplicado, al trans-
currir el tiempo, como resultado de las características --
plásticas del concreto y del acero.

2. CONCRETO PRETENSADO

En el concreto pretensado, primero se tensa al acero entre los muertos de anclaje y posteriormente el concreto es colocado alrededor del acero y en moldes que dan la forma al elemento. Cuando el concreto ha alcanzado suficiente resistencia a la compresión, se libera al acero de los muertos de anclaje, transfiriendo la fuerza al concreto a través de la adherencia existente entre ambos.

El pretensado puede usarse en la obra cuando se requiera un gran número de unidades similares prefabricadas, pero normalmente se lleva a cabo en plantas en donde ya -- han sido previamente construidas mesas permanentes de tensado. El método más efectivo, es el de producción a gran escala, en la que un cierto número de unidades análogas se producen simultáneamente.

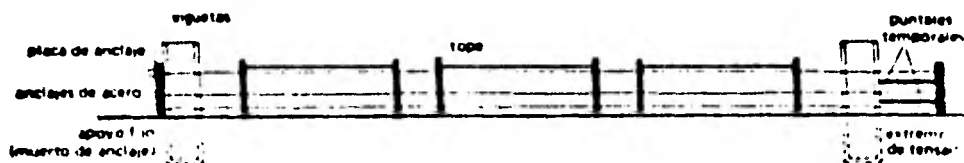
2.1. FORMA DE APLICAR EL PRESFUERZO

Los tendones de acero, que generalmente consisten de alambre en piezas pequeñas y torones para las piezas más grandes, se tensan entre las placas de anclaje situadas en cada extremo de una mesa larga de tensado, (ver foto 2.1.). Dichas placas se encuentran soportadas por grandes secciones de acero ahogadas en un macizo de concreto (muerto de anclaje) en cada extremo de la superficie de colado.



Figura 2.1.

Generalmente, las placas de anclaje son placas gruesas de acero con agujeros por donde los alambres o torones pueden introducirse y anclarse. Los extremos de cada unidad tienen un tope que se taladra de acuerdo con la colocación de los tendones requeridos y del diámetro de los alambres o torones utilizados. En la siguiente figura se muestra la disposición típica de una producción a gran escala:



Los torones o alambres, en el número proyectado, se -

arrastran a todo lo largo de la mesa de tensado, enhebrándose en los topes y en las placas de anclaje que finalmente se sujetan al apoyo fijo. En el otro extremo de la mesa, el tensado se inicia una vez que hayan sido colocados todos los alambres. Los cables se estiran para levantarlos de la mesa y aplicar la carga. En seguida se ancla el alambre y se descarga el gato; esta operación se repite -- con todos los demás alambres. La secuencia del tensado no es muy importante en el pretensado, pero, como acontece -- con todo el presforzado, es esencial un tensado preciso.

Si se va a emplear algún refuerzo secundario, la cantidad necesaria se habrá colocado en conjunto cerca de los topes y de los tendones ensartados al ejecutarse la operación de arrastrar a los alambres por la mesa, (fig 2.1.1.).

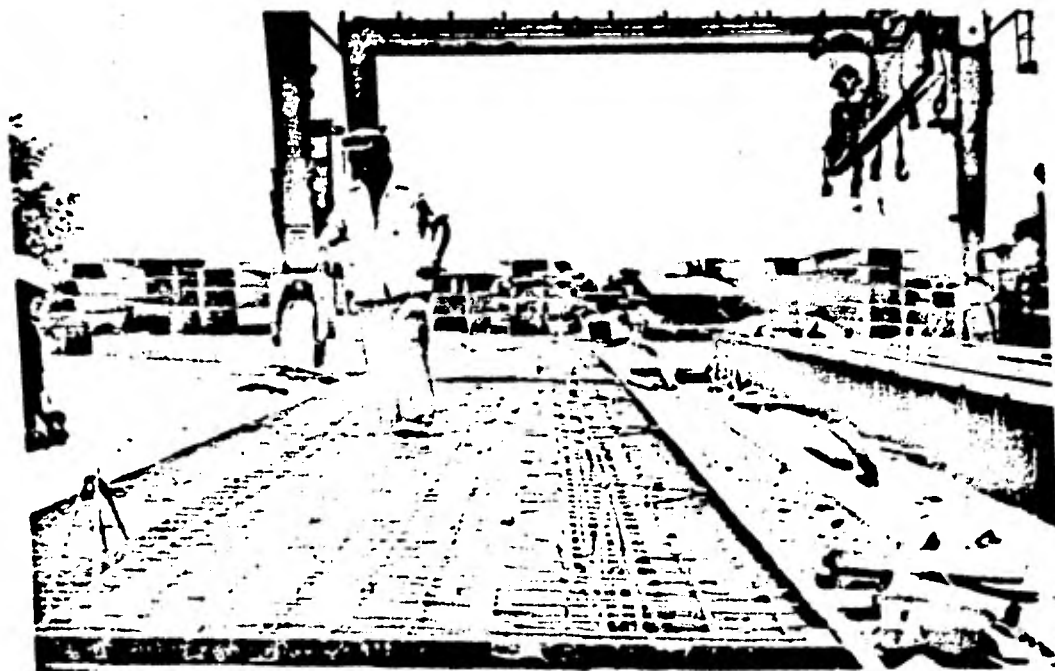
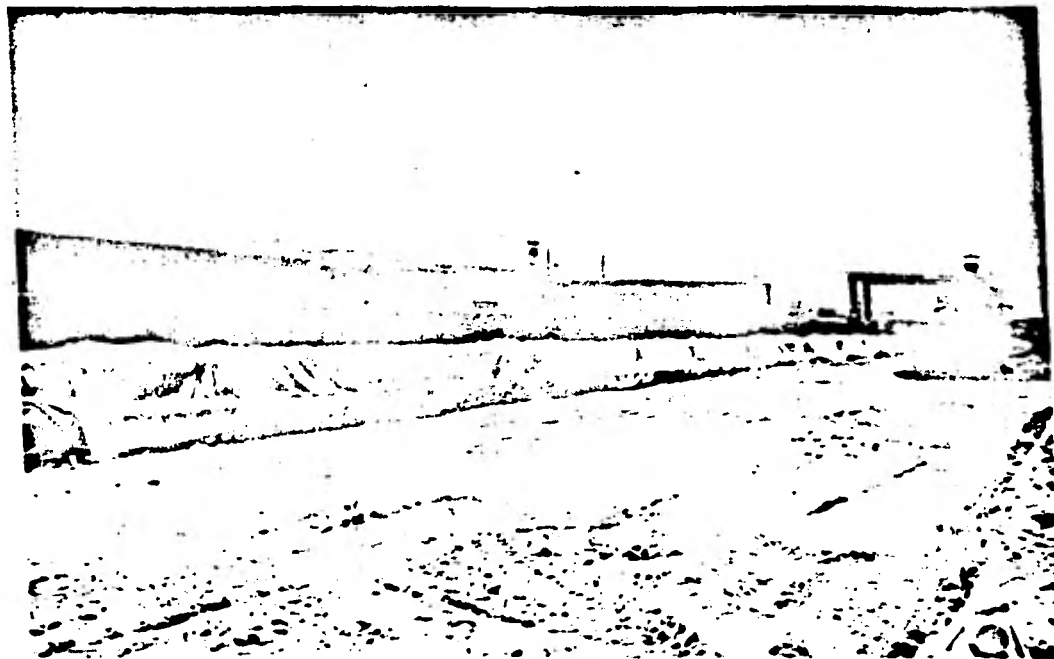


Figura 2.1.1.

Una vez que se ha terminado el tensado, se arregla al refuerzo en la posición debida y se ensamblan los moldes preparándolos para recibir al concreto.

Para obtener una compactación completa del concreto, se deben emplear vibradores, ya sea internos o externos.

El curado, es un proceso que se puede acelerar, mediante la introducción de vapor bajo una cubierta apropiada, obteniendo así una producción rápida, debido a la mayor utilización de la mesa.



En el procedimiento descrito hasta ahora, todos los tendones se han mantenido rectos, continuamente adheridos al concreto. Aún cuando la mayoría de las unidades pretensadas se construyen de esta manera, no proporciona el uso más eficiente de la fuerza de presfuerzo, en lo que respec

ta a miembros a flexión de sección constante: En las unidades grandes, donde es importante el peso propio, resultará ventajoso incrementar la excentricidad de los tendones cerca de la zona central del claro.

En el proceso de tendones no adheridos se reduce a la fuerza de presfuerzo introduciendo algunos de los tendones en tubos de plástico para así evitar que queden adheridos. Por lo tanto, la longitud de transmisión se inicia en el extremo del tubo, (fig 2.1.2.)

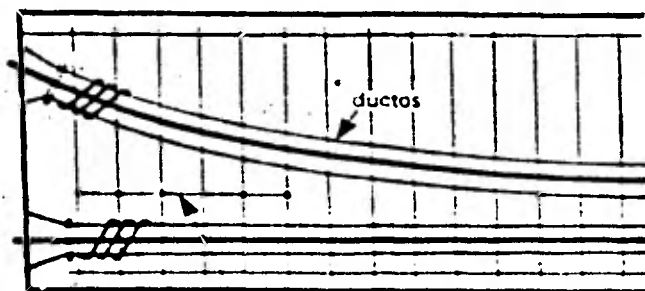


Figura 2.1.2.

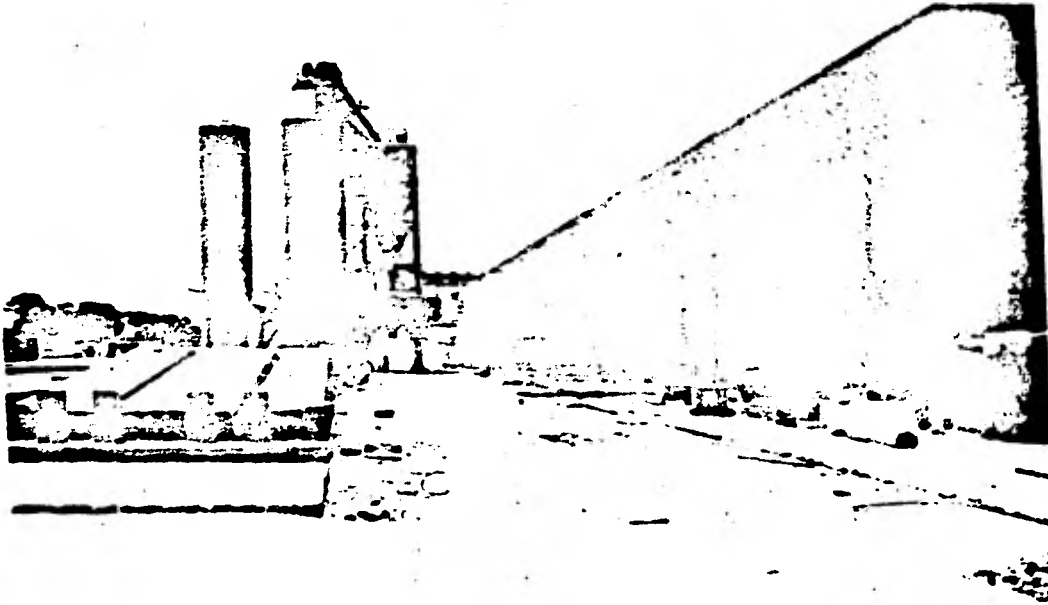
2.2 INSTALACIONES

Los elementos de concreto precolado y pretensado se fabrican en una planta permanente, o en una planta provisional en el lugar de la obra. Los principios son los mismos; la planta permanente se puede dotar en una forma económica, de maquinaria y equipo más complejo, con la flexi-

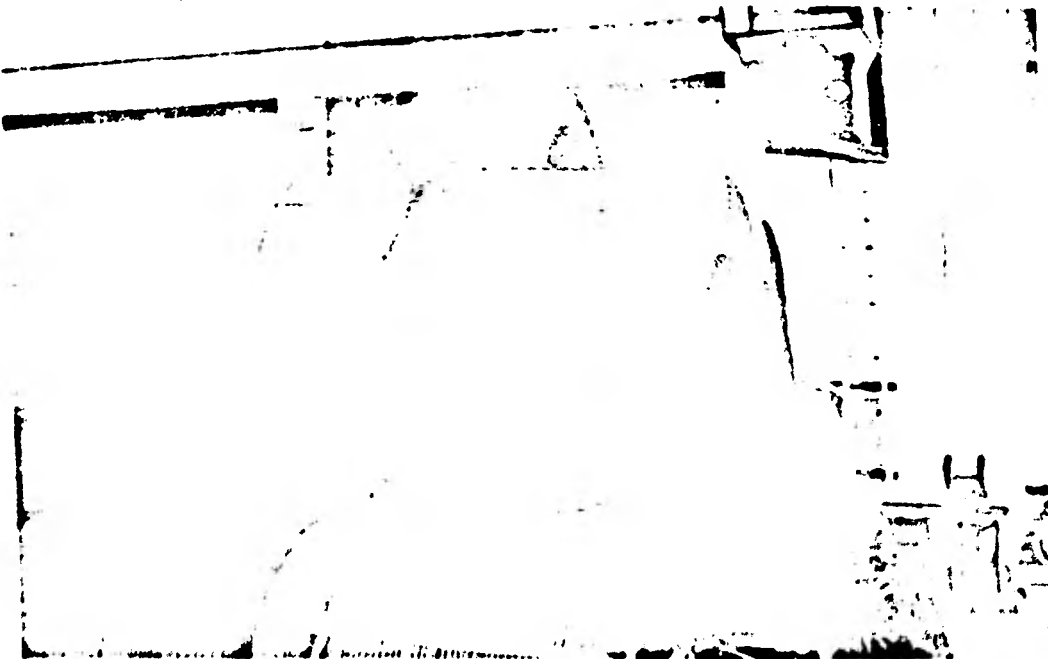
bilidad para ajustarse a una variedad de productos, mientras que la planta en el sitio de la obra se ajusta a las necesidades específicas del proyecto en particular.

En la planta de fabricación debe existir como mínimo los siguientes elementos:

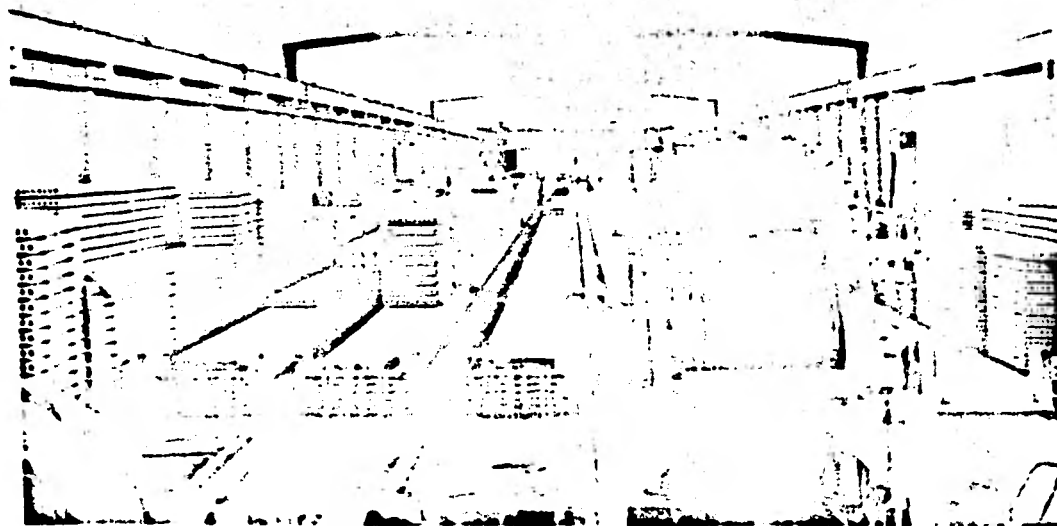
1. Suministro de concreto y distribución a las cimbras.



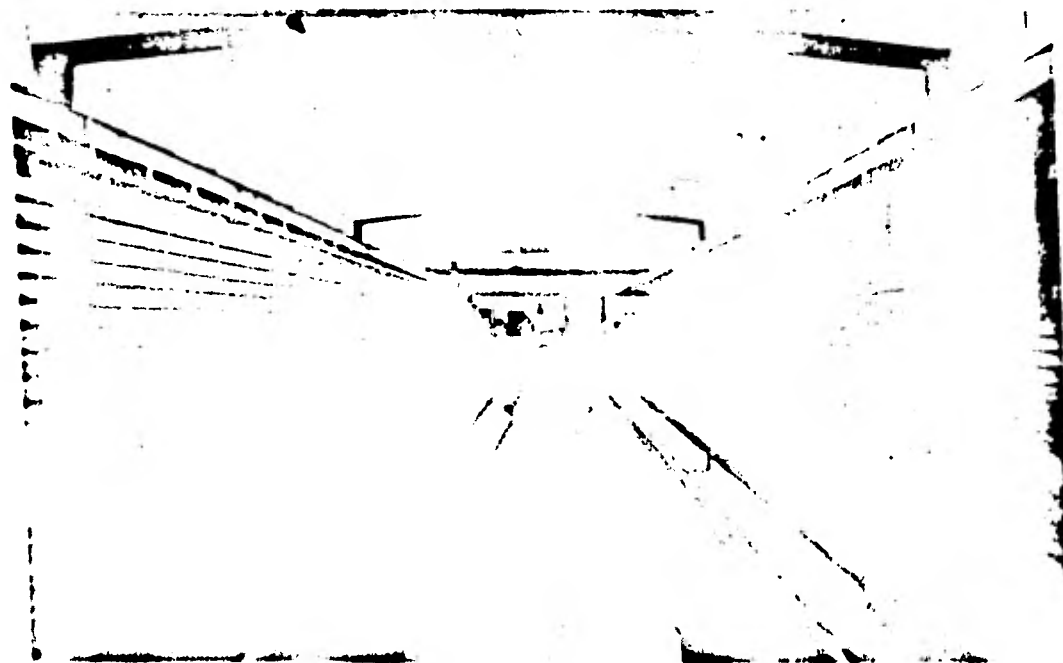
2. Almacenamiento de torones de presfuerzo en rollos, con los medios para tender los tendones de la cimbra.



3. Almacenamiento de acero de refuerzo e instalaciones de fabricación.



4. "Camas", en las cuales se esfuerzan los tendones, se colocan las cimbras y se cuela el concreto; dichas camas deben tener capacidad para resistir las altas fuerzas de compresión, así como los momentos ocasionados por la distancia entre el tendón y la superficie de la cama y también por la deformación de los tendones.



5. Medios para aplicar el presfuerzo (por lo general, un equipo de gatos hidráulicos, mordazas y tornillos de apriete para los tendones).

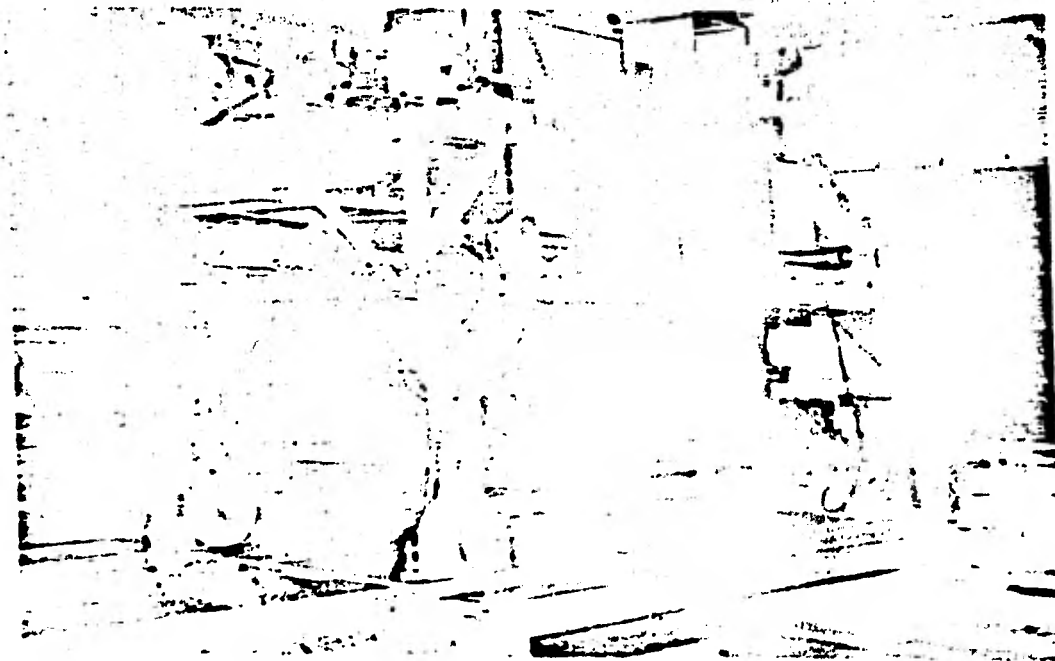


6. Mecanismos para dar curvatura a los tendones, en caso necesario. Ver figura del punto 3.

7. Cimbras

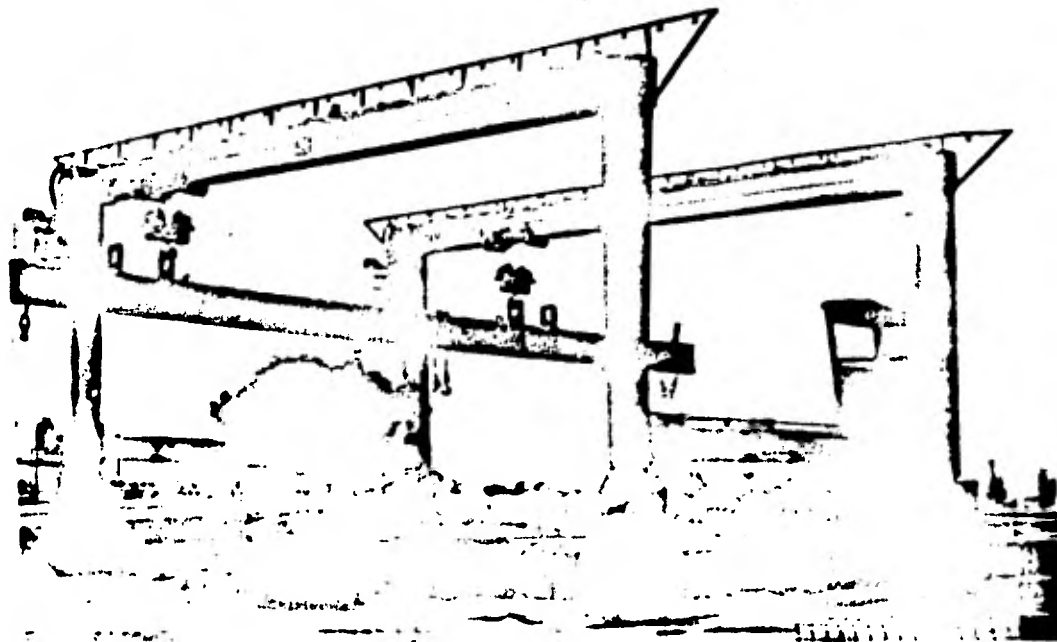


8. Equipo para colocar y consolidar el concreto.



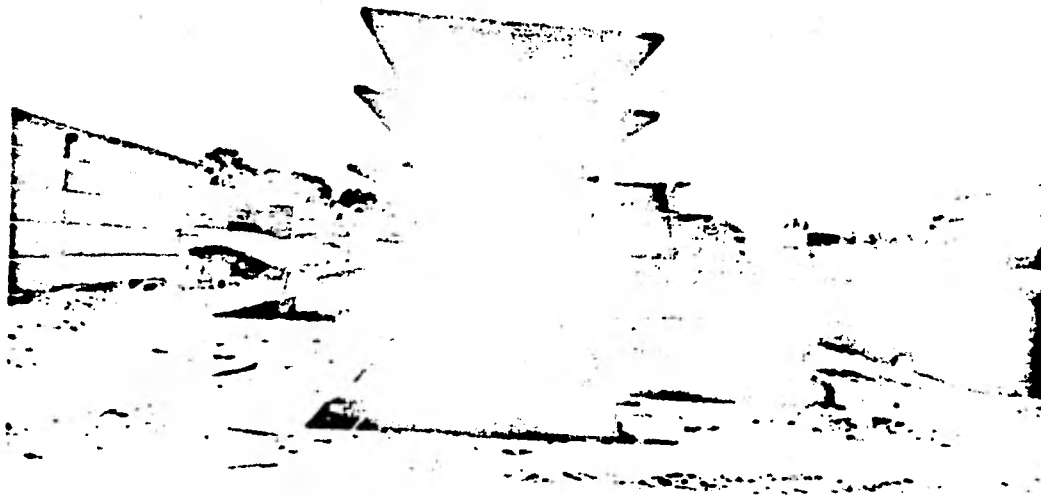
9. Medios para aplicar un curado acelerado (generalmente , un sistema de vapor a baja presión).

10. Equipo para izaje y manejo.



11. Areas de almacenamiento.

30

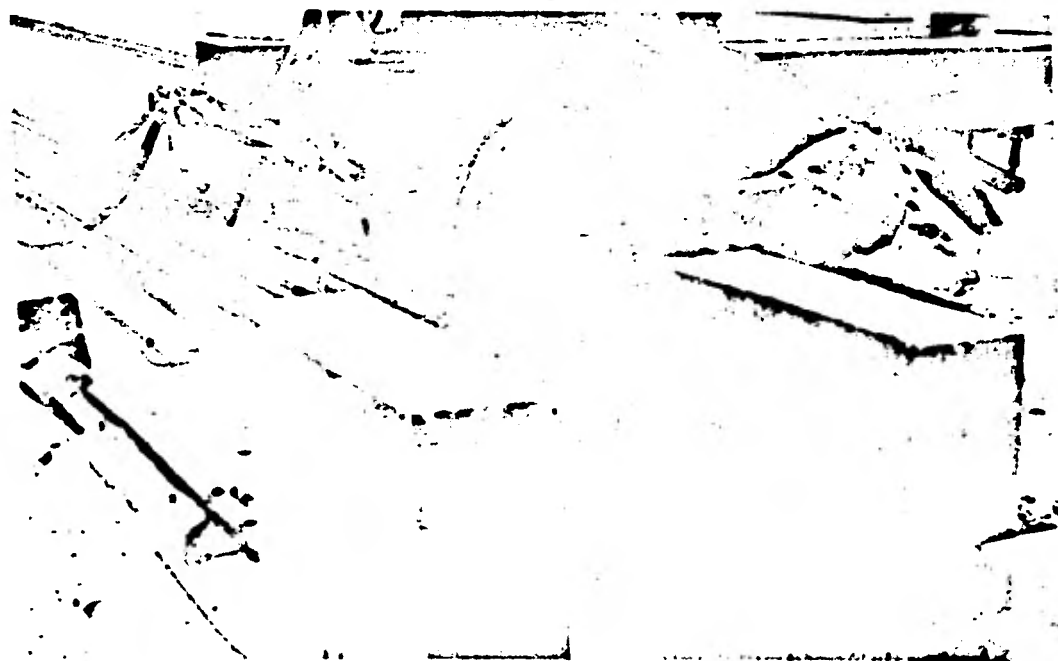


12. Equipo de transporte, como camiones, barcazas, etc.



13. Equipo para pruebas e inspección.

14. Instalaciones para mantenimiento y reparación.
15. Servicios (agua, corriente eléctrica, combustible, aire comprimido, etc.).
16. Almacenamiento y fabricación de insertos, estrobo, -- bloques separados, etc.
17. Equipo de corte y soldadura.



18. Servicios de ingeniería para dibujos de taller y de -- trabajo, y cálculos varios.
19. Dirección y administración del patio, registros de cos -- tos, contabilidad, compras, despacho de materiales, estima -- ciones, ingeniería de ventas e ingeniería de servicios.

2.2.1. MESAS DE COLADO Y TIERNOS DE ANCLAJE

Las mesas de colado para la producción de elementos -- pretensados pueden tener características muy variables, --

que dependen de la naturaleza de los productos por prefabricar, la magnitud de las fuerzas de presfuerzo para las que haya que proporcionar anclaje, y las propiedades del suelo sobre el que deben apoyarse. Un aspecto fundamental es reducir al mínimo los movimientos diferenciales de las instalaciones, a fin de evitar tener que hacer ajustes frecuentes para conservarlas debidamente niveladas.

El dimensionamiento de las mesas se basa en la aplicación de los principios de la ingeniería estructural y de la mecánica de suelos. La longitud de las mesas oscila entre 40 y 200 m, aproximadamente, pudiéndose considerar 100 metros como valor promedio.

Se distinguen tres tipos de mesas de colado:

I. MESAS FIJAS

A. Con mueritos de anclaje que resisten por sí mismos todas las fuerzas de presfuerzo. En esta alternativa, los mueritos resisten las fuerzas de presfuerzo exclusivamente por su propio peso y las reacciones del terreno, pudiéndose incluir entre estas el empuje pasivo y la fricción entre el muerto y el suelo. La losa no tiene más función que la de proporcionar una superficie de trabajo. Un inconveniente de ésta alternativa es que la losa y los mueritos pueden tener movimientos relativos entre sí de importancia, que pueden ocasionar dificultades en la producción. Sin embargo, cuando el terreno es bueno, es una de las soluciones más-

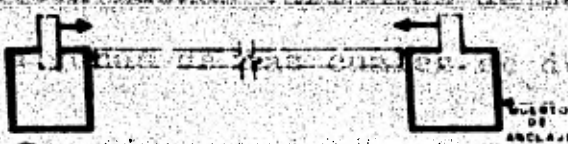
convenientes por su sencillez.

B. Con muertos de anclaje piloteados. Una variante de la alternativa anterior consiste en proporcionar estabilidad a los muertos de anclaje por medio de pilotes. Esta solución puede ser adecuada en caso de que los terrenos sean malos. La losa tampoco cumple con una función estructural.

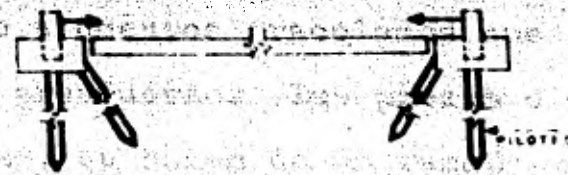
C. Con la losa que actúa como una columna. Las dimensiones de los muertos de concreto pueden disminuirse si se hace que la losa que forma la mesa actúe como una columna -- con capacidad suficiente para transmitir las cargas de -- presfuerzo. También en este caso puede haber movimientos relativos que ocasionen problemas de fabricación. Deben -- investigarse los efectos de esbeltez bajo la acción de las fuerzas de presfuerzo, aunque por regla general el peso -- propio de la losa es suficiente para que esto no constituya un problema.

D. Con una losa monolítica con muertos de anclaje. En este caso, la losa y los muertos de anclaje forman un conjunto monolítico. La ventaja de este tipo de solución es su gran rigidez, quedando reducidos a un mínimo los problemas debidos a movimientos diferenciales. Esta variante es la indicada cuando el terreno es malo.

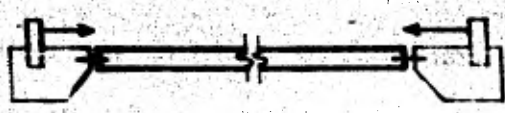
en obras distintas y se reduzcan así los costos de amorti-
zación. Existen muchas variantes de mesas portátiles para
proteger, a. El firme de las cargas. Se describen a continua-
ción:



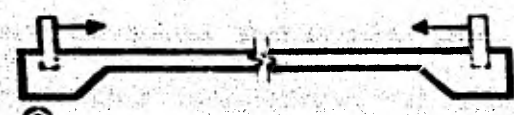
A LOS MUERTOS DE ANCLAJE RESISTEN POR SI SOLOS TODAS LAS FUERZAS DE PRESION



B MUERTOS DE ANCLAJES CON PILOTES



C EL FIRME ACTUA COMO COLUMNA

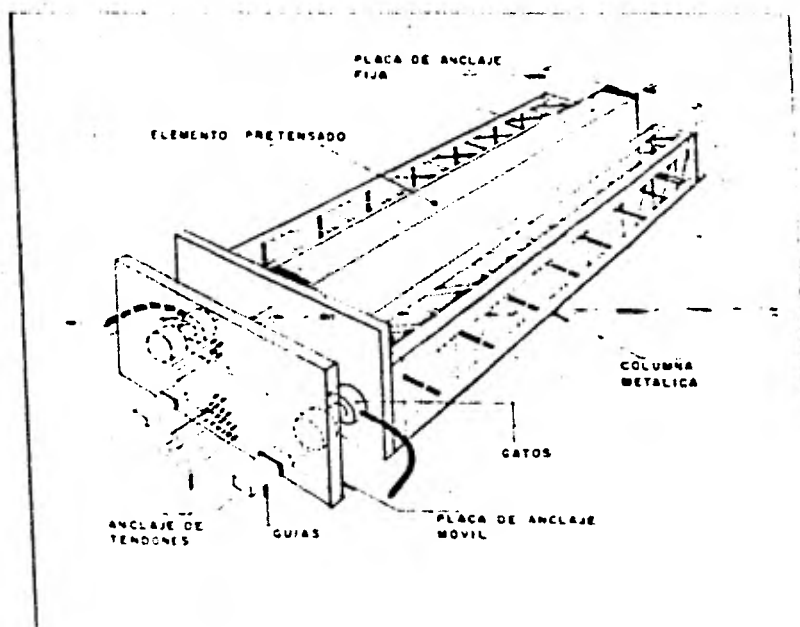


D LOSA MONOLITICA CON LOS MUERTOS DE ANCLAJE

II. MESAS PORTATILES

En algunas ocasiones puede ser necesario hacer una -
planta provisional cerca de la obra donde se van a consu--
mir productos prefabricados. Esto se justifica cuando no
existen plantas de prefabricación próximas y cuando el vo-
lumen de la obra es lo suficientemente importante. Para -
que resulten económicas, estas plantas deben estar consti-
tuidas por elementos recuperables en el mayor grado posi-
ble, con el fin de que puedan utilizarse repetidas veces -

dores formados por estructuras desarmables de acero. Esta alternativa implica menos costo de transporte, cada vez que la mesa es trasladada para su instalación en una nueva obra, por el menor peso de los elementos que la integran.

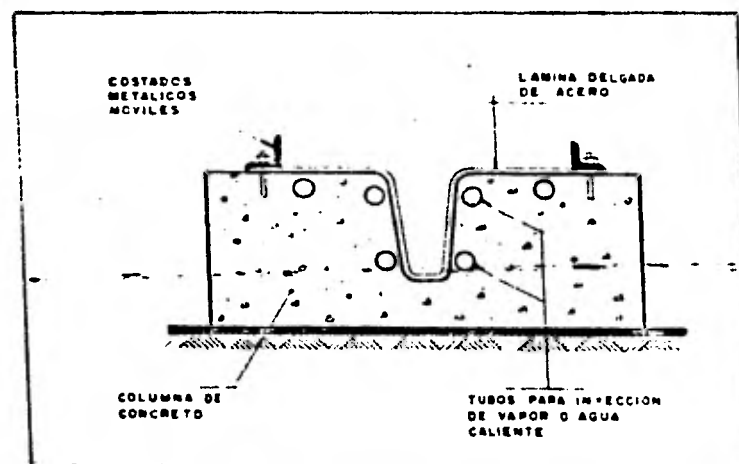


III. MOLDES CON CAPACIDAD PARA RESISTIR LAS FUERZAS DE PRESFUERZO

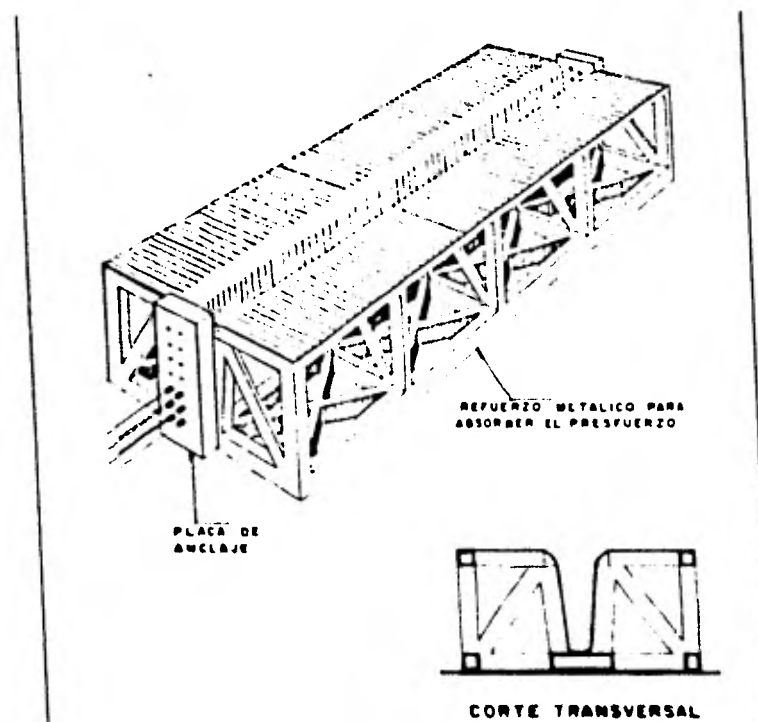
Una solución que puede resultar conveniente en algunos casos, consiste en utilizar moldes que tengan suficiente resistencia para que las fuerzas de presfuerzo puedan anclarse contra los moldes mismos. Dos posibles variantes son las siguientes:

A. Moldes de concreto forrados de lámina. Algunos elementos estándar pueden fabricarse en moldes de concreto forra

dos de lámina. La lámina, que se utiliza únicamente para asegurar un buen acabado, puede ser de calibre relativamente bajo. Las fuerzas de presfuerzo son resistidas por el concreto. Suelen preverse ductos para vapor o agua caliente a fin de acelerar el fraguado.

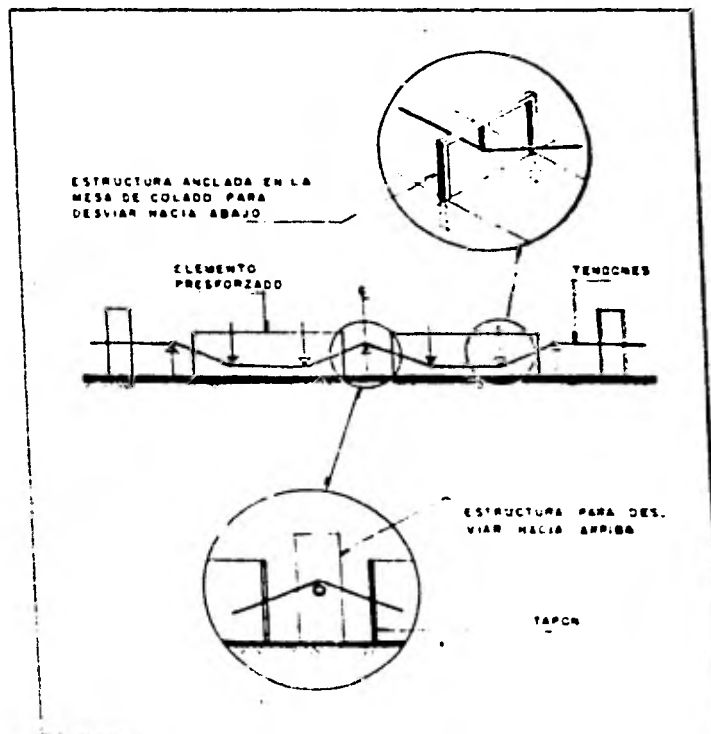


B. Moldes metálicos. También es posible hacer moldes metálicos que tengan suficiente rigidez para resistir las fuerzas de presfuerzo por sí solas. Esta solución suele ser cara, pero tiene la ventaja de que puede desmontarse y transportarse sin gran costo, debido a su ligereza.



2.2.2. DISPOSITIVOS PARA DESVIAR TENDONES

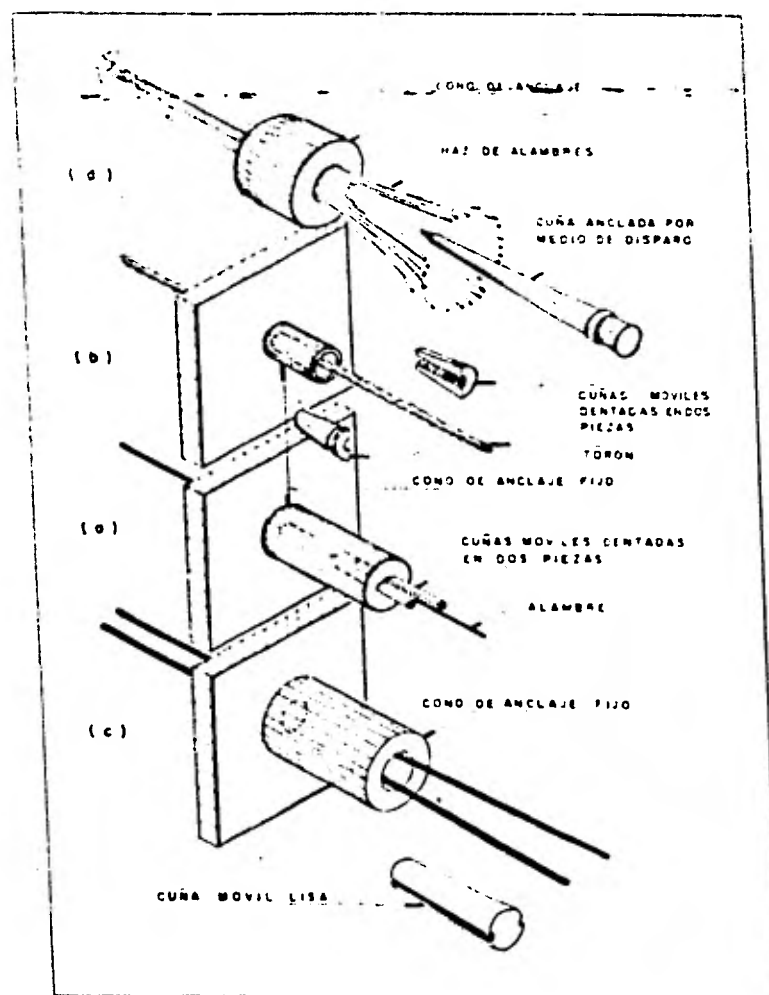
En general, por sencillez constructiva, los elementos pretensados se fabrican con tendones rectos. Algunas plantas presforzadas cuentan con dispositivos que permiten desviar los tendones de tal forma que sus trayectorias se ajusten a las necesidades de momentos en la forma más eficiente posible. En la siguiente figura se muestra esquemáticamente una mesa de colado para producir elementos con tendones siguiendo trayectorias quebradas, así como detalles típicos de procedimientos para lograr los quiebres.

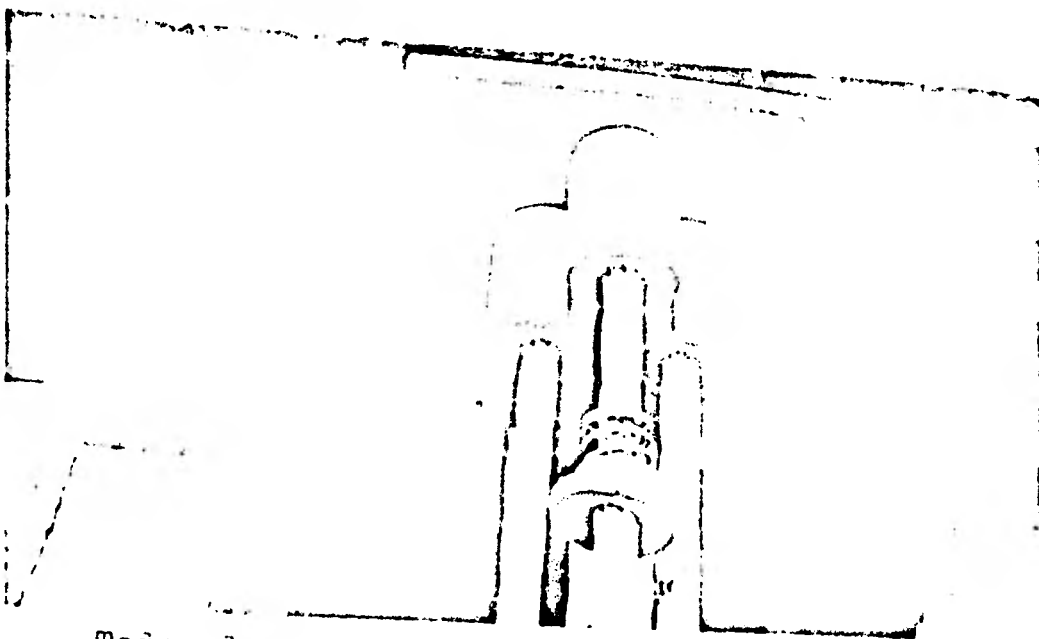


2.2.3. DISPOSITIVOS DE ANCLAJE

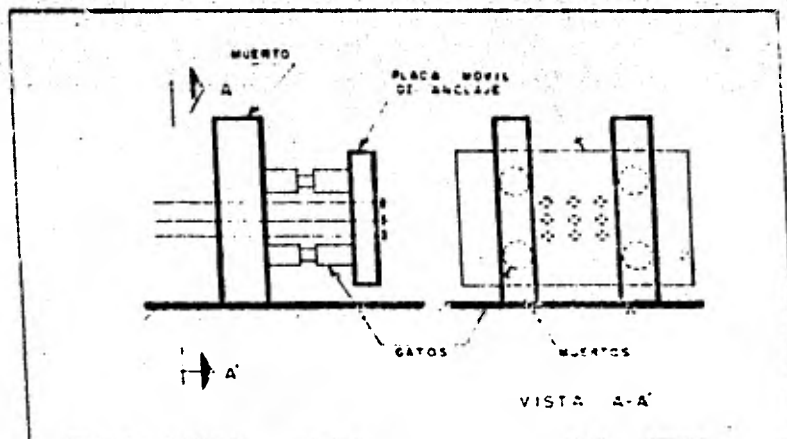
Los tendones se sujetan en los muertos de anclaje por medio de mordazas que, en general, utilizan el principio de la cuña o la fricción, o una combinación de ambos recur

sos. Existen anclajes para un solo alambre o torón (figs. a y b), para dos alambres (fig c) o para un haz de alambres (fig d). En la mayoría de las plantas de pretensado, los tendones se tensan individualmente. Sin embargo, en algunos casos se estiran y anclan grupos de tendones simultáneamente.



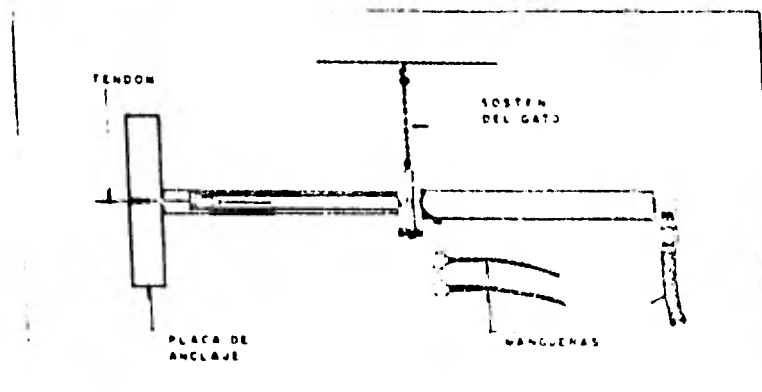


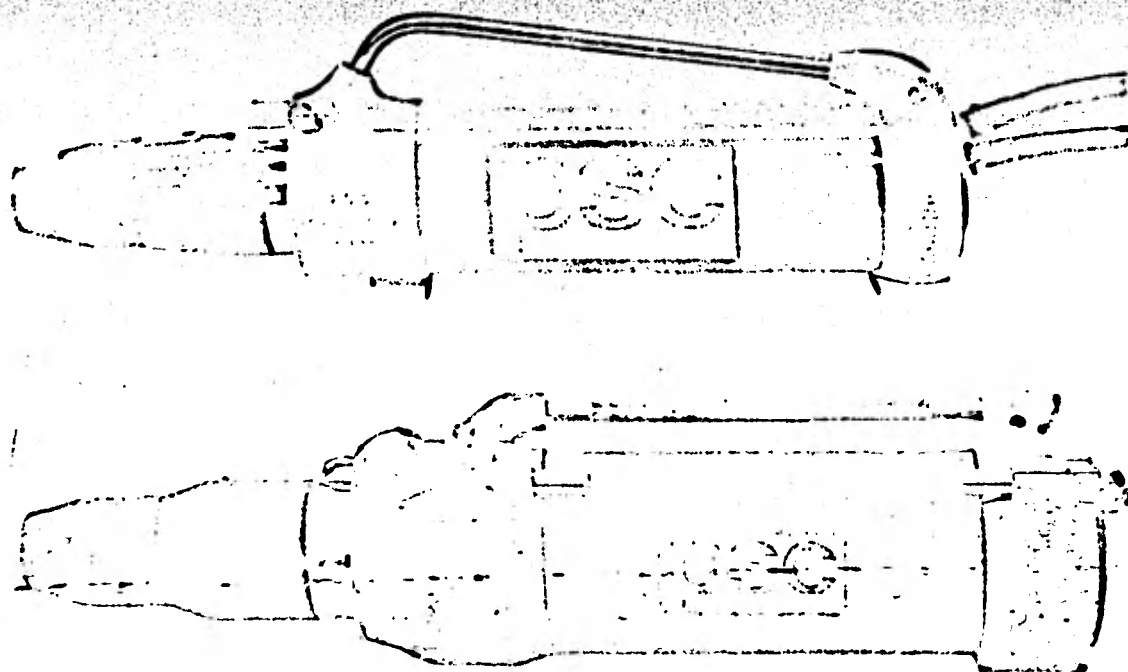
Todos los tendones de una mesa pueden tensarse simultáneamente, por medio de dispositivos como los que se presentan a continuación.



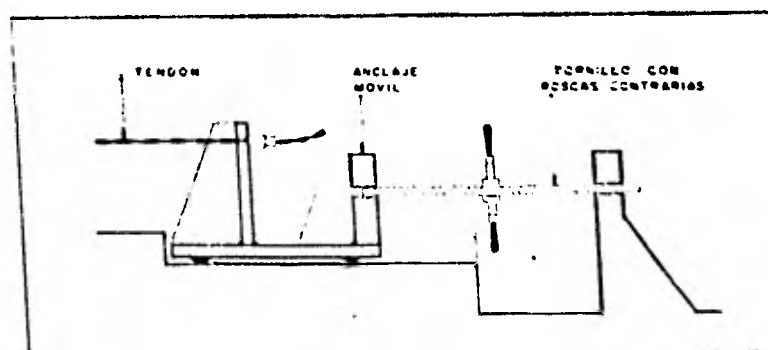
2.2.4. FORMAS DE TENSAR

El método más utilizado para estirar los tendones se basa en el empleo de gatos hidráulicos de distintos tipos. Los gatos pueden ser de capacidad relativamente pequeña, - cuando se estiran los tendones individualmente, o llegar a tener capacidades de varios cientos de toneladas, cuando se estira un grupo de tendones grandes. El control del -- presfuerzo aplicado se realiza midiendo la longitud estirada directamente y por medio de los manómetros que suelen - estar adaptados a los gatos. En la siguiente fotografía - se muestra un gato hidráulico típico para tensado indivi-- dual de tendones.





Algunas plantas emplean sistemas con gatos mecánicos - de distintos tipos, basados generalmente en el principio - del tornillo. En algunas instalaciones se recurre a siste - mas de contrapesos.



3. CONCRETO POSTENSADO

El postensado puede usarse en la producción industrial para grandes unidades prefabricadas, tanto en la obra como fuera de ella, aunque muchas de las estructuras de concreto presforzado más importantes y espectaculares, han sido construidas con concreto postensado colado en el sitio.

3.1. PROCEDIMIENTO

En el postensado, primero se coloca al concreto fresco dentro del molde y se deja endurecer previo a la aplicación del presfuerzo. El acero puede colocarse en posición con un determinado perfil, quedando ahogado en el concreto, para evitar la adherencia se introduce al acero dentro de una camisa metálica protectora; o bien pueden dejarse ductos en el concreto, pasando el acero a través de ellos una vez que ha tenido lugar el endurecimiento. En cuanto se ha alcanzado la resistencia requerida del concreto, se tensa al acero contra los extremos del elemento y se ancla, quedando así el concreto en compresión. En la mayoría de los casos, una vez tensados los elementos y aplicada la deformación necesaria al tendón, se retiran los gatos, y los tendones se anclan mediante sistemas especiales, luego se inyecta lechada de cemento en los ductos, para proteger -

al acero contra la corrosión y para que exista adherencia entre los tendones y el concreto.

3.2. TIPOS DE ANCLAJE

Los diversos tipos de anclaje de los tendones que se utilizan en los sistemas postensados pueden clasificarse según el procedimiento que utilizan.

1. Aprovechando el principio de la cuña, así como la fricción entre las cuñas y los tendones.
2. Apoyando directamente el tendón sobre una placa por medio de un engrosamiento formado en el extremo de los tendones.
3. Usando dispositivos a base de rosca.
4. Doblando los tendones.

A continuación se presentan algunos sistemas y sus ca-

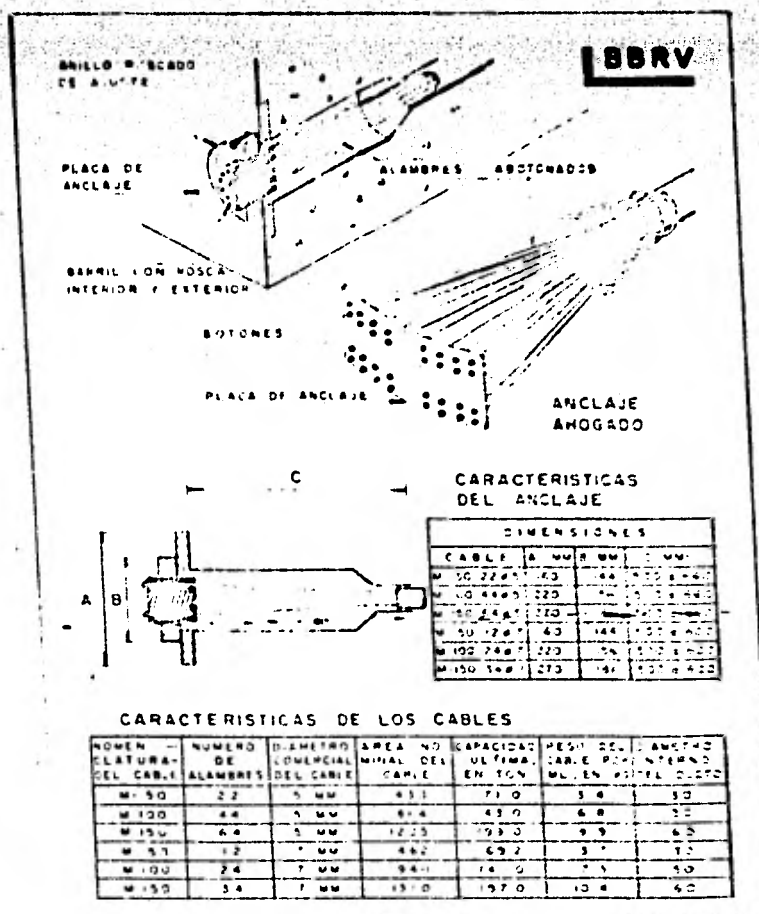
racterísticas principales, de los más conocidos en México.

3.2.1. SISTEMA BBRV

Este sistema es de origen suizo, y fué el primero en que se utilizó un anclaje a base de botones en los extremos de los alambres, en forma de cabezas de remache, apoyados directamente sobre un elemento de anclaje de acero, -- que a su vez descansa sobre una placa de distribución, también de acero, ahogada en el concreto. El ensanchamiento del extremo de los alambres se logra en frío, por medio de un equipo especial. Se deben tomar precauciones especiales para que todos los tendones tengan la longitud correcta. El sistema BBRV facilita notablemente el anclaje y permite tensar un gran número de tendones simultáneamente. El ajuste de la fuerza de presfuerzo se logra mediante una rosca en el elemento de anclaje. En vigas tensadas por un solo lado, pueden usarse anclajes a base de placas, como el que se ve en la figura.



Anclaje de tendido BBRV

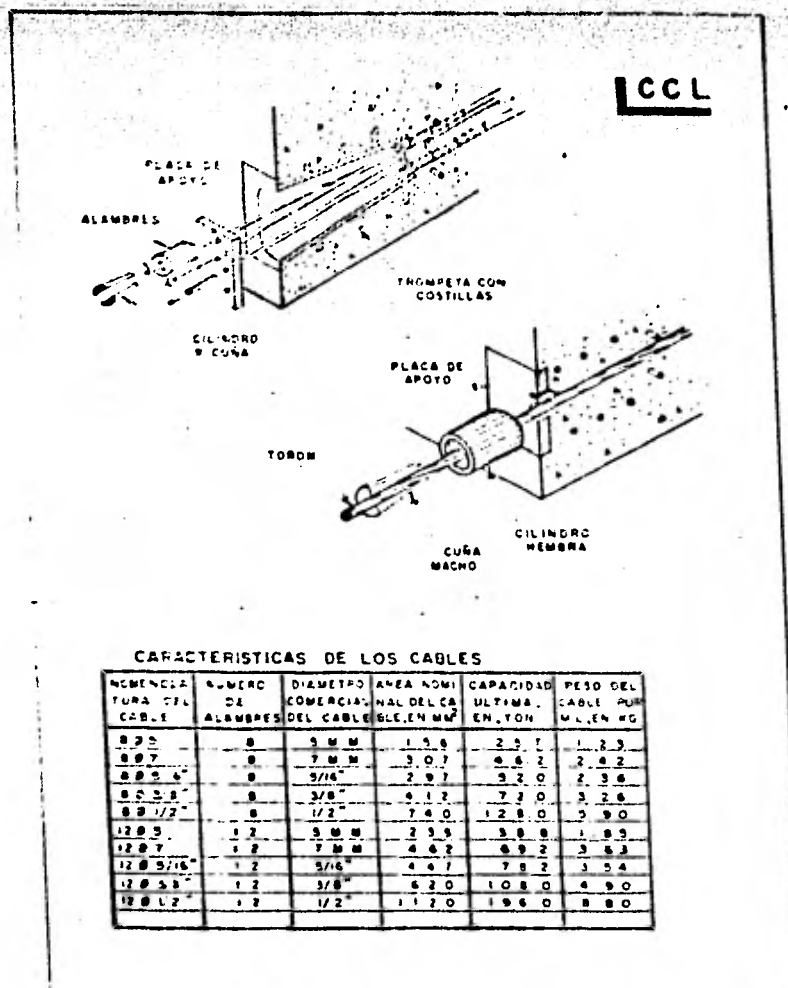


3.2.2. SISTEMA CCL

Es de origen inglés. Utiliza el principio de cuña y fricción, pero anclando individualmente cada tendón por medio de un sistema de cuñas y cilindros. En este sistema se deben tensar uno por uno todos los alambres que forman el tendón.



Anclaje CCL. Strawforce



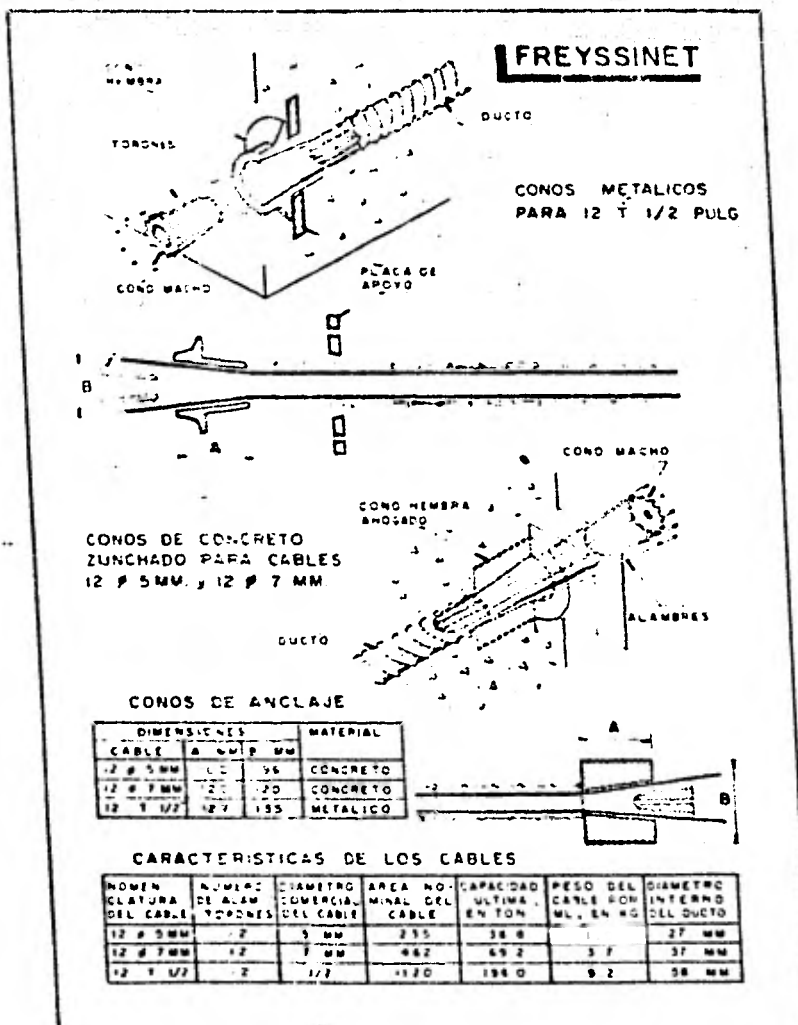
CARACTERISTICAS DE LOS CABLES

NOMENCLATURA DEL CABLE	NUMERO DE ALAMBRES	DIAMETRO COMERCIAL DEL CABLE	AREA NOMINAL DEL CABLE EN MM ²	CAPACIDAD ULTIMA EN TON	PESO DEL CABLE POR M. EN KG
8 3 5	8	5 M M	1 5 6	2 5 7	1 2 3
8 6 7	8	7 M M	3 0 7	6 6 2	2 6 2
8 8 5 4	8	5/16"	2 9 7	5 2 0	2 3 6
8 5 5 8	8	3/8"	4 1 2	7 2 0	3 2 6
8 8 1/2"	8	1/2"	7 4 0	12 8 0	5 9 0
12 8 5	12	5 M M	2 3 5	3 6 8	1 8 3
12 8 7	12	7 M M	4 6 2	6 9 2	3 6 3
12 8 5/16"	12	5/16"	4 6 7	7 8 2	3 5 4
12 8 3/8"	12	3/8"	6 2 0	10 8 0	4 9 0
12 8 1/2"	12	1/2"	11 2 0	19 6 0	8 8 0

3.2.3. SISTEMA FREYSSINET

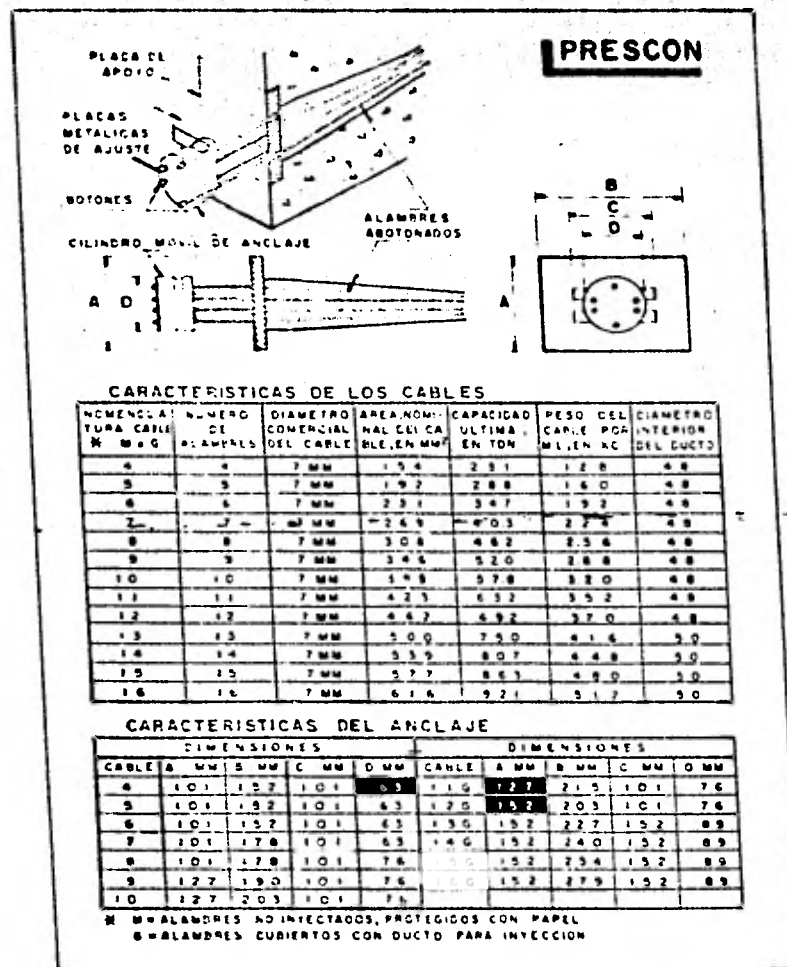
Para tendones formados por alambres, este sistema emplea cilindros y cuñas hechos de concreto. El interior de los cilindros es cónico, de tal manera que los alambres -- queden sujetos por medio de una cuña cónica estriada, que se introduce en el cilindro mediante presión aplicada con el mismo gato empleado para tensar. Generalmente, el cilindro se ahoga dentro del concreto, de manera que queda -- apañado con las caras extremas de los elementos presforzados. Para tendones a base de torones, se emplean cuñas y

cilindros metálicos.



3.2.4. SISTEMA PRESSCON

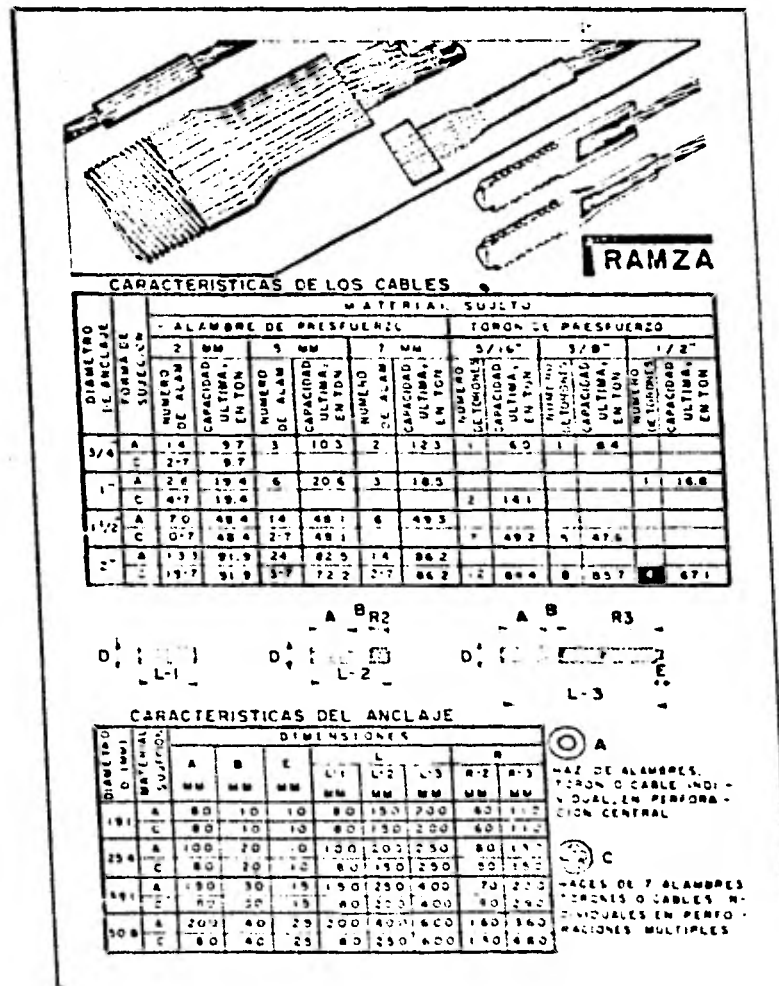
Fué desarrollado en Estados Unidos de Norteamérica. - Es muy semejante al sistema BBRV; difiere de éste únicamente en el ajuste del presfuerzo, que se logra por medio de placas de acero en lugar de la rosca empleada en el sistema suizo.



3.2.5. SISTEMA RAMZA

Este sistema, de patente mexicana, ha sido desarrollado recientemente por el Ing. Ramírez Zamorano. Se ha utilizado con éxito en estructuras civiles importantes. De características originales, difiere considerablemente de los descritos en los sistemas anteriores. Se basa en la extrusión en frío de un casquillo metálico en torno del tendón por anclar; la extrusión se efectúa mediante una prensa y unos dados de diseño especial. La sujeción se logra por la incrustación, entre el casquillo y el acero de

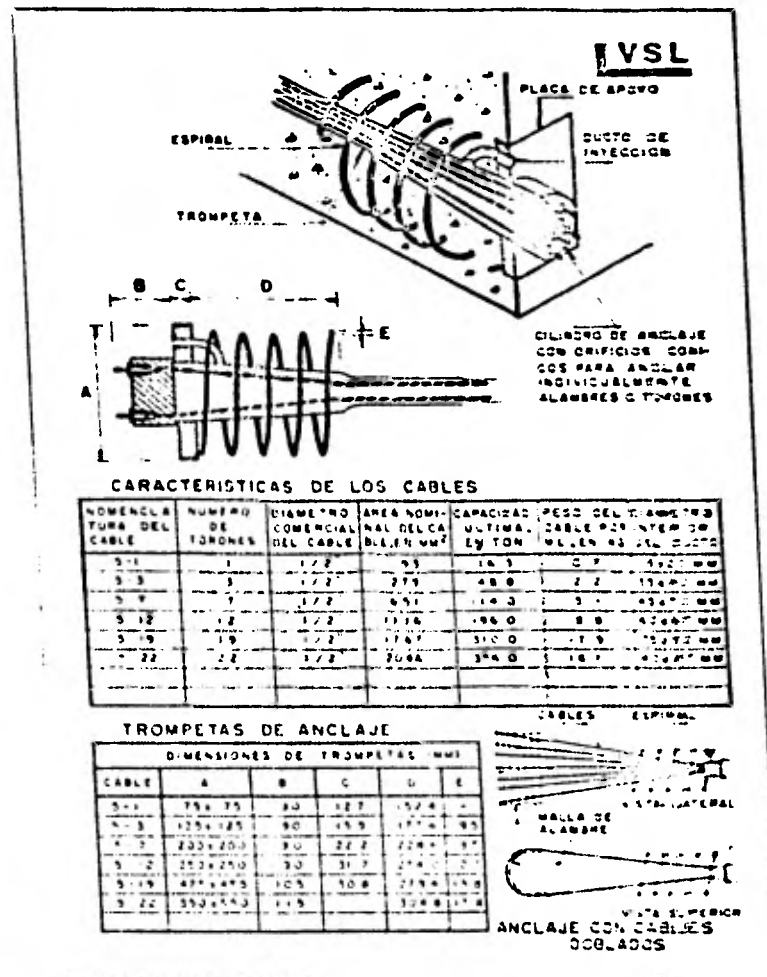
presfuerzo, de un material de mayor dureza que ambos, el cual se coloca de manera que al realizarse la extrusión se obtiene una liga mecánica, similar a la lograda entre tornillo y tuerca por medio de una rosca.



3.2.6. SISTEMA VSL

Desarrollado también en Suiza, aunque con posterioridad al BBRV, este sistema se basa en el principio de curia y fricción. Los tendones quedan anclados en un elemento de anclaje con perforaciones cónicas para cada alambre o torón. El elemento de anclaje cuenta con una rosca para

hacer ajustes, lo mismo que en el anclaje BBRV. En el extremo fijo, los tendones pueden anclarse doblándolos, como se indica en la figura.



4. SISTEMAS ESPECIALES DE PRESFUERZO

4.1. PRESFUERZO POR MEDIO DE CONCRETOS EXPANSIVOS

El presfuerzo se logra empleando una mezcla de cementos portland y aluminoférrico, que tiene la propiedad de hacer que el concreto aumente de volumen. Los tendones, que se dejan ahogados en el concreto, restringen la dilatación. Esto induce esfuerzos de tensión en los tendones y esfuerzos de compresión en el concreto.

4.2. PRESFUERZO ELECTRICO

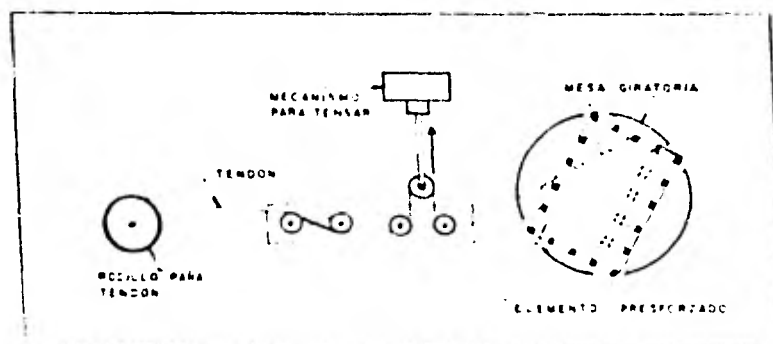
Los tendones utilizados en este procedimiento suelen ser varillas lisas cubiertas con material termoplástico, que se dejan ahogadas en el concreto como si se tratara de refuerzo convencional. Una vez que el concreto ha fraguado, se introduce en los tendones una corriente eléctrica de bajo voltaje y alto amperaje. El aumento de temperatura producido por la corriente eléctrica tiene dos efectos importantes: a) ablanda el material de revestimiento de los tendones permitiendo el libre movimiento de estos dentro del concreto, b) aumenta la longitud de los tendones. Cuando los tendones han alcanzado la longitud requerida, se anclan en los extremos de la pieza por presforzar mediante dispositivos a base de rosca. Cuando las barras se

enfrian, tienden a recuperar su tamaño original, lo que induce un estado de esfuerzos de compresión en el concreto.- Al mismo tiempo, el material de revestimiento de los tendones se solidifica, restableciéndose la adherencia entre los tendones y el concreto.

En realidad, este método es una variante del postensado, ya que el concreto debe haber endurecido antes de la aplicación del presfuerzo.

4.3. PRESFUERZO POR EMBOBINADO

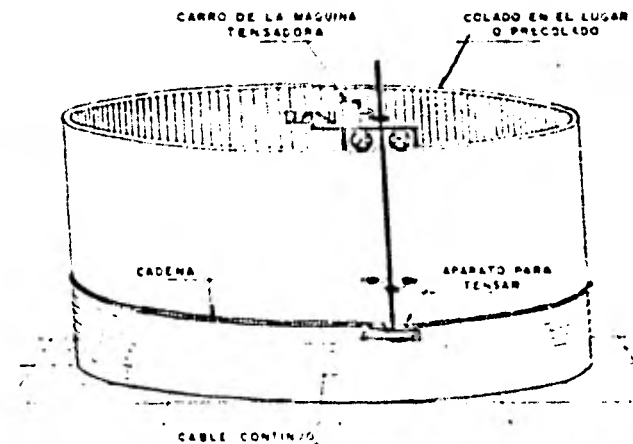
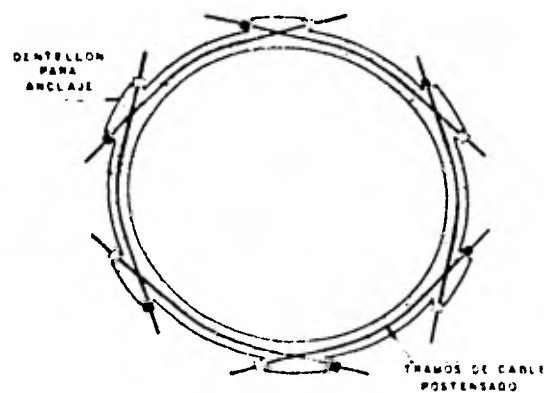
Este procedimiento es de uso común en la Unión Soviética. Se trata de una variante del pretensado, que permite lograr trayectorias complejas de los tendones, gracias al empleo de plataformas giratorias. El principio del sistema se muestra esquemáticamente en la figura siguiente. - Aplicaciones típicas son la fabricación de placas con presfuerzo en dos sentidos y de armaduras.



4.4. PRESFUERZO CIRCULAR

Se utiliza en estructuras circulares tales como tanques, depósitos para derivados del petróleo, silos o tuberías. Los tendones se colocan de manera que rodeen a la estructura, zunchándola. El presfuerzo creado por este procedimiento contrarresta los esfuerzos de tensión producidos por los empujes radiales ejercidos por los líquidos o materiales almacenados.

Existen dos formas de presforzar recipientes circulares. En la primera, los tendones consisten en tramos de cables relativamente cortos, que se dejan ahogados dentro de ductos en el concreto. Como en las estructuras postensadas lineales, los tendones se anclan en lugares convenientes, una vez tensados.



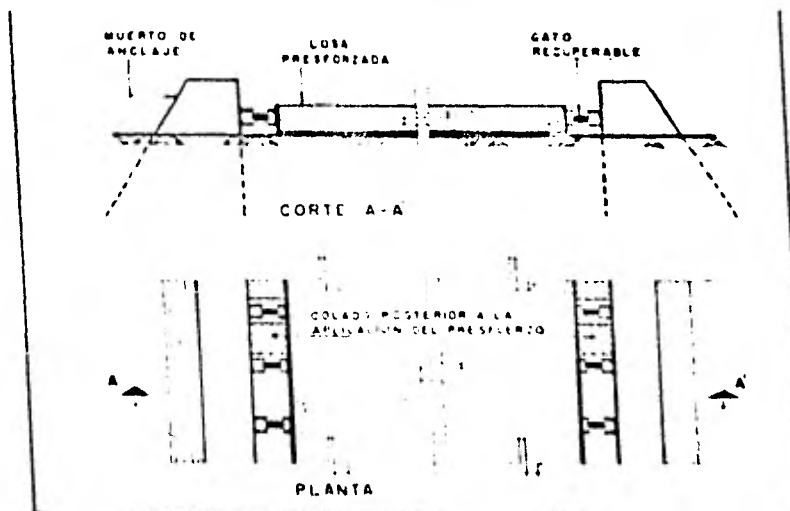
En la segunda alternativa, se empieza por formar los muros que constituirán las paredes del recipiente, sea con concreto reforzado colado en su lugar, sea con piezas pre-

fabricadas. El presfuerzo se crea por medio de un cable continuo que se enrolla en torno a la estructura mediante un dispositivo que mantiene al cable en tensión durante su colocación. Una vez colocado, se protege aplicando una capa protectora de concreto, generalmente a base de algún procedimiento neumático, (ver la figura anterior).

En la fabricación de tuberías presforzadas, también se utilizan tendones continuos. Sin embargo, en este caso los cables se enrollan en torno a las tuberías haciendo que éstas giren, lo que requiere el empleo de instalaciones bastante complicadas.

4.5. PRESFUERZO EXTERNO

En algunos casos resulta conveniente prescindir de los tendones y aplicar el presfuerzo por algún medio externo. Un ejemplo es el de los pavimentos para aeropuertos, que en ocasiones se han presforzado por medio de gatos; estos se hacen reaccionar contra muertos construidos para este fin, como se ilustra esquemáticamente en la siguiente figura.



Una vez aplicado el presfuerzo, los gatos pueden retirarse, sustituyéndose por algún elemento rígido que mantenga las deformaciones impuestas inicialmente. Cuando se utiliza este sistema, debe preverse alguna forma de volver a aplicar los gatos en caso necesario, para hacer ajustes por las pérdidas que pueden haberse producido en el presfuerzo inicialmente aplicado.

5. ANALISIS COMPARATIVO ENTRE EL CONCRETO PRETENSADO Y EL POSTENSADO

El método del postensado se presta para aplicarse a

5.1. PRETENSADO
 más en obra, que en fábricas. Una parte de las estructu-

El uso del método pretensado, es más favorable cuando se va a fabricar un elevado número de elementos uniformes, ya que se pueden utilizar sistemas altamente industrializados, que pueden significar una economía muy grande; además, el método se adapta mejor a elementos de sección transversal pequeña, donde los cables y ductos del postensado no se pueden acomodar.

Entre las ventajas del método se pueden incluir las debidas a la industrialización, donde existe un mayor control de calidad tanto de los agregados, como del proceso, además de que no se requieren anclajes especiales.

Entre las principales desventajas del método que hacen más limitado su uso, tenemos que se requiere una inversión muy costosa en las instalaciones, además de que se necesita hacer un número considerable de piezas, y el tamaño de las mismas queda muy limitado tanto por el transporte como por el manejo en planta. Además en la obra se incrementan los costos por transporte y montaje, y las conexiones se complican mucho más.

BIBLIOGRAFIA

1. Introducción al concreto presforzado.
A.H. Allen
IMCYC
México D.F., 1980

2. Construcción de estructuras de concreto presforzado.
Ben C. Gerwick, Jr.
Editorial LIMUSA
México D.F., 1978

3. Concreto Presforzado.
José Maria Rioboo
IMCYC
México, D.F.

4. El cálculo de las estructuras de concreto presforzado.
T.Y. Lin
Compañía Editorial Continental, S.A.
México D.F., 1965

5. Modern Prestressed Concrete.
James R. Libby
Editorial Van Nostrand Reinhold.
San Diego California, U.S.A., 1977

6. Prestressed Concrete.
Khachaturian and Gurfinkel
Editorial Mc Graw-Hill
U.S.A., 1969

7. Concreto Presforzado.
Autores varios.
CICM
México D.F., 1957