

# EDIFICACIÓN



## Tema 4 Estructuras y albañilería

### Tema 4.4 Estructuras de concreto presforzado

**Autores:**

**M.I. Guillermo Llanos Bonilla**

**Carlos Ramón Espinosa Hernández**



## ÍNDICE

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>4.4.1 Propiedades del Concreto Presforzado .....</b>	<b>4</b>
<b>4.4.2 Esfuerzos en Elementos de Concreto Presforzado .....</b>	<b>5</b>
<b>4.4.3 Materiales y Equipo.....</b>	<b>8</b>
4.4.3.1 Acero de Presfuerzo.....	8
4.4.3.2 Moldes.....	10
4.4.3.3 Equipo de Tensado. ....	13
<b>4.4.4 Elementos Estructurales de Concreto Presforzado.....</b>	<b>14</b>
4.4.4.1 Secciones Comunes. ....	15
4.4.4.2 Secciones Especiales. ....	20
<b>4.4.5 Fabricación .....</b>	<b>25</b>
<b>4.4.6 Transporte y Colocación .....</b>	<b>32</b>
<b>Conclusión Capitular .....</b>	<b>34</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>35</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>37</b>



## **Introducción**

En la edificación, como en la construcción en general, se busca mejorar los parámetros de calidad, tiempo y costo; esto se traduce en edificar de manera segura más alto, en menos tiempo y optimizando costos. Una forma de lograrlo es mejorar las propiedades de los materiales, en este sentido cabe hacerse las preguntas, ¿Cómo hacer elementos estructurales más resistentes, de menor dimensión y más ligeros?

Una forma de lograrlo es a través de elementos de concreto presforzado.

En un elemento de concreto reforzado el acero empezará a trabajar cuando se apliquen las cargas de servicio, en un elemento de concreto presforzado el acero (en forma de barras, cables o torones) ha sido sometido a tensión antes de que le sean aplicadas las cargas de servicio.

El presfuerzo se clasifica de acuerdo con:

1. El momento de tensionamiento del acero con respecto al vaciado de concreto. Pudiendo ser pretensado o postensado.
2. La interacción entre el concreto y el acero de tensado. Teniendo las variantes de adherido y no adherido.
3. La localización de los elementos que generan el presfuerzo. Por lo que puede ser interior o exterior.

Aunque existen trabajos previos que intentaron mejorar las propiedades del concreto sometándolo a compresión por tensión del acero, son los trabajos realizados por el ingeniero francés Eugène Freyssinet, los que dieron origen a la primera patente de concreto pretensado en 1920, para 1928 registró la patente para el sistema básico de pretensado que describe el sistema de pretensión y el sistema de cables adherentes. Pero es hasta 1943 cuando el sistema de concreto pretensado tiene mayor impulso. En Francia, sobre el río Maine se encuentra el puente Luzancy construido en 1946 que es el primer puente de arco construido con concreto pretensado, su claro mayor es de 55 metros.



En México, la primera estructura que utilizó elementos presforzados fue el puente urbano Zaragoza sobre el Río Sta. Catarina en la Ciudad de Monterrey, Nuevo León en 1951.

**Figura 1.** *Puente Luzancy, Francia*



*Nota:* Adaptada de *Structure Magazine Edición especial* [Archivo PDF], por Freyssinet, mayo de 2019, ([http://www.freyssinet.es/freyssinet/wfreyssinet\\_sp.nsf/1E340019E089CCF0C12584EA00599A87/\\$file/FR EYSSINET-MAG\\_HORS%20SERIE%2075%20ANS\\_ESP.PDF](http://www.freyssinet.es/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/1E340019E089CCF0C12584EA00599A87/$file/FR EYSSINET-MAG_HORS%20SERIE%2075%20ANS_ESP.PDF))

Con respecto a obras de edificación una de las primeras que utilizaron elementos presforzados fueron las gradas superiores del Estadio Azteca cuya estructura estuvo terminada a finales de 1964. Cada grada tiene una longitud variable de entre 9 y 13 metros y un peso entre 2 y 4 toneladas.

**Figura 2.** *Estadio Azteca en construcción, Ciudad de México*



*Nota:* Adaptada de Villasana-Torres, Col. (28 de mayo de 2016). La Ciudad en el Tiempo: Estadio Azteca, 50 años. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/galeria/metropoli/cdmx/2016/05/28/la-ciudad-en-el-tiempo-estadio-azteca-50-anos/>

En el desarrollo de este capítulo se describirá el principio del concreto presforzado, elementos estructurales pretensados y postensados comunes, su fabricación, se mencionarán algunas normas relacionadas a las especificaciones de los materiales utilizados, así como ejemplos de sus aplicaciones en edificación.



#### 4.4.1 **Propiedades del Concreto Presforzado**

El presfuerzo significa la inducción intencional de esfuerzos permanentes en una estructura con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio. En el concreto se pueden aplicar esfuerzos mediante el tensado del acero en su interior.

El ACI (instituto Americano del Concreto por sus siglas en inglés), propone la siguiente definición:

*“Concreto presforzado; Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado.”*

La fabricación de elementos de concreto presforzado requiere principalmente de concretos de alta resistencia (alto comportamiento) y aceros también de alta resistencia (elevado límite elástico).

En cuanto a su proceso de fabricación, la colocación del concreto en esencia es el mismo para el concreto reforzado. Para el caso del acero se requiere de equipo adecuado para dar la tensión de proyecto, esto incluye preparaciones especiales ya sea en planta o en obra, equipos calibrados, personal certificado, etcétera. En la práctica, los elementos presforzados son subcontratados a empresas que cuentan con las instalaciones, los equipos, el personal y la experiencia para este tipo de trabajos.

Al utilizar concreto presforzado los elementos estructurales pueden ser de menor tamaño que los de concreto armado, esto hace posible diseñar estructuras de menor peso, menor coeficiente sísmico, mayor espacio habitable.

El concreto presforzado es menos propenso al agrietamiento, esta característica disminuye la posibilidad de que el acero de su interior se oxide, el elemento estructural requiera menor mantenimiento y tenga una mayor vida útil.



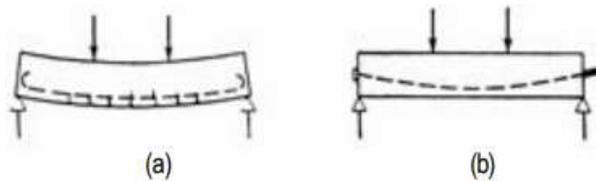
#### 4.4.2 Esfuerzos en Elementos de Concreto Presforzado

Usualmente en el cálculo de un elemento de concreto reforzado no se considera que el concreto absorba esfuerzos de tensión.

Para evitar el agrietamiento, deformación excesiva y falla del elemento, se coloca acero de refuerzo en la parte inferior como se observa en la figura 3 inciso (a). Ahora bien, para el caso del concreto presforzado que se presenta en la figura 3 inciso (b), el acero se coloca también, en la parte donde el concreto es más débil a la flexión; con la diferencia de que el acero se somete a una tensión dentro de su rango elástico por medio de equipo antes de vaciar el concreto.

Cuando el concreto alcanza cierto grado de resistencia, se retira el equipo y el acero tratará de regresar a su dimensión original. Al presentarse compresión en la parte inferior del elemento, se producirá una deformación a la que se denomina contraflecha misma que ha sido previamente calculada. Cuando el elemento reciba las cargas para las que fue diseñado, la longitud de la contraflecha disminuirá hasta los límites reglamentarios.

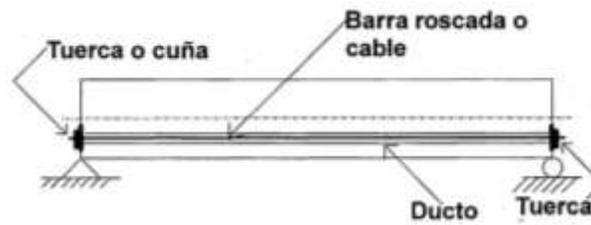
**Figura 3.** Deformaciones y agrietamientos en vigas de concreto



*Nota:* La figura (a) representa una viga de concreto reforzado y la figura (b) representa a una de concreto presforzado. Adaptada de *Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas* [Esquema], por E., Reinoso Angulo, M. E., Rodríguez y R. Betancourt Ribotta (Eds.), 2000, ANIPPAC-II UNAM.

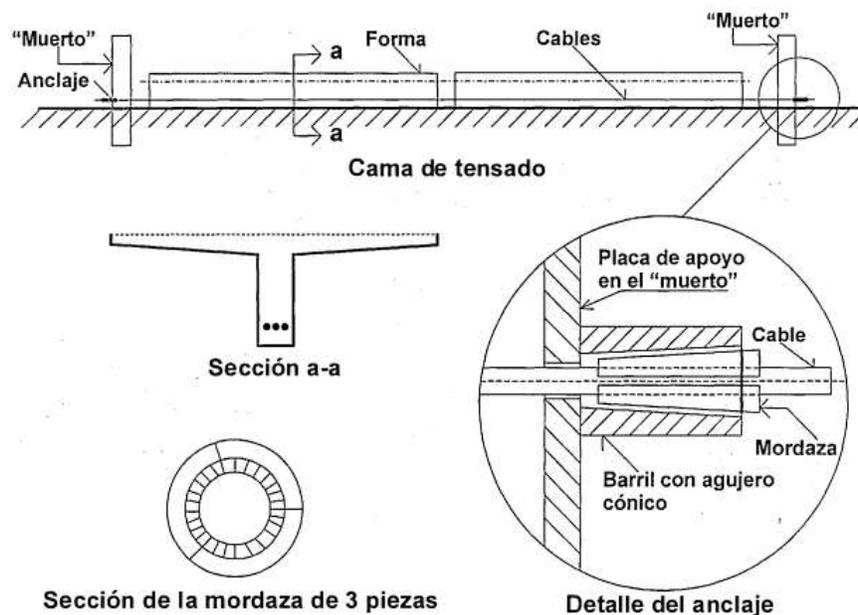
La figura 4 ilustra los elementos básicos necesarios para un elemento de concreto presforzado.

Desde el punto de vista constructivo existen dos tipos de concreto presforzado; el concreto pretensado y el concreto postensado. Una vez construido el elemento presforzado, desde el punto de vista del comportamiento estructural, no hay ninguna diferencia entre uno y otro.

**Figura 4.** Componentes básicos en un elemento presforzado

Nota: Adaptada de *Temas fundamentales del concreto presforzado* [Esquema], por F. J. Orozco Zepeda, 2006, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

En la técnica del pretensado, el acero se ancla en uno de sus extremos en un arreglo capaz de permanecer inmóvil cuando se aplique la fuerza de tensión, a este arreglo se le conoce comúnmente como “muerto”, en el otro extremo se colocará el equipo para tensar el cable apoyado también en un “muerto”, en este extremo se ha preparado un arreglo (con placas y mordazas) de manera que cuando se alcanza la tensión de proyecto el acero mantenga esa tensión cuando se retire el equipo. Ver figura 5.

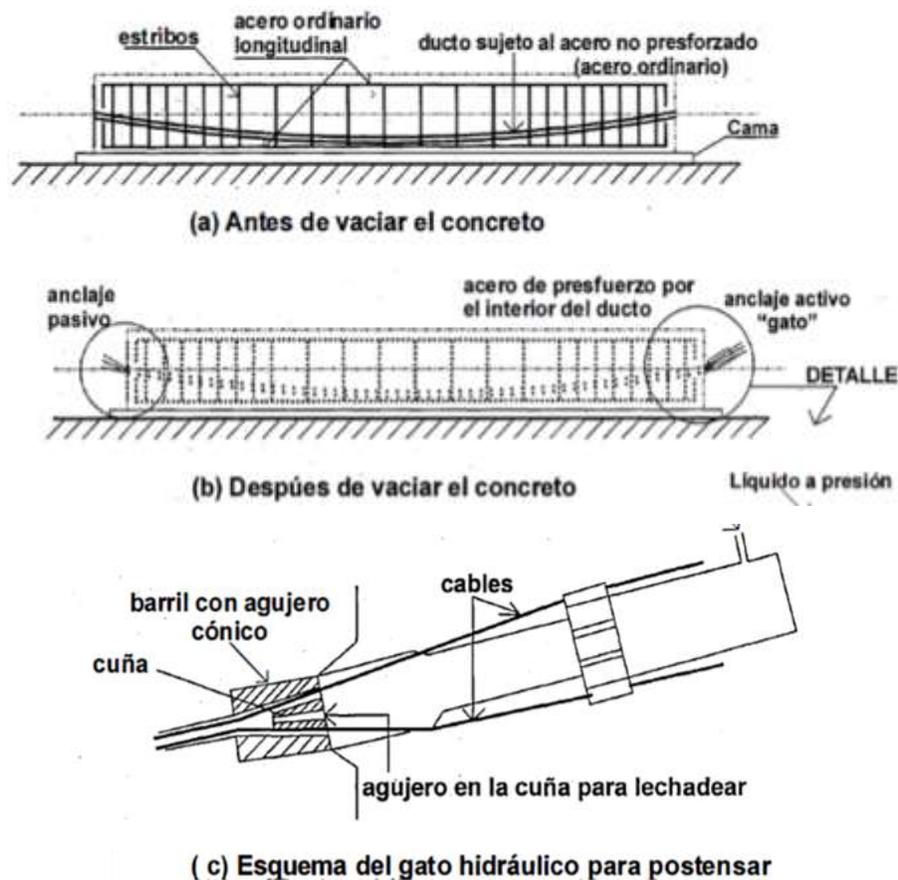
**Figura 5.** Componentes básicos del pretensado

Nota: Adaptada de *Temas fundamentales del concreto presforzado* [Esquema], por F. J. Orozco Zepeda, 2006, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Una vez que el concreto ha endurecido lo suficiente, se sueltan los cables de sus anclajes, al estar adherido el cable al concreto, éste transmitirá una fuerza de compresión a la sección transversal del elemento.

La técnica del postensado es apropiada para fabricar los elementos en una planta cerca de la obra o in situ. Cuando el elemento tiene dimensiones fuera de lo usual, o el tamaño y peso del elemento hace muy costoso o complicado el traslado, el concreto postensado es una buena alternativa.

**Figura 6.** Componentes básicos del postensado



*Nota:* Adaptada de *Temas fundamentales del concreto presforzado* [Esquema], por F. J. Orozco Zepeda, 2006, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

En la fabricación de un elemento de concreto postensado, se dejan ductos embebidos en el concreto para introducir por ellos el acero de refuerzo ya sea en forma de cables o de alambres. Una vez que el concreto ha endurecido lo suficiente se introducen los cables o

alambres por los ductos. En uno de los extremos se sujeta el acero mediante cuñas que permanecerán inmóviles durante el tensado, en el otro extremo se colocará un “gato” hidráulico que producirá la tensión, cuando se alcanza la tensión de proyecto se colocan cuñas en este extremo. Después se inyectará una lechada de cemento dentro del ducto con la intención de evitar la corrosión del acero y que al fraguar la lechada el acero quede adherido al concreto.

La adherencia del acero con el concreto transmitirá la fuerza de compresión a la sección transversal mejorando su resistencia a la tensión.

### 4.4.3 Materiales y Equipo

#### 4.4.3.1 Acero de Presfuerzo.

El acero utilizado en elementos presforzados debe tener un rango elástico mayor que el utilizado en el concreto reforzado por lo que su fabricación se realiza con acero de alto carbono. Este acero es empleado en losas de edificios y estacionamientos, pistas de aeropuertos y naves de almacenaje. Básicamente existen 3 tipos de acero de presfuerzo:

- a) Alambres
- b) Cables trenzados o torón
- c) Barras corrugadas

Los *alambres* deben cumplir las normas de fabricación siguientes:

- **Norma ASTM A-421:** Especificación Normalizada para Alambre de Acero Aliviado (relevado) de Esfuerzos sin Recubrimiento para Concreto Preesforzado.
- **Norma ASTM A881:** Especificación estándar para alambres de acero, con sangría, de baja relajación para concreto pretensado.
- **Norma NMX-B-293-CANACERO-2019:** Industria siderúrgica - alambre de acero, sin recubrimiento con relevado de refuerzo para usarse en concreto presforzado – especificaciones y métodos de prueba.



El diámetro comercial de este producto va de los 3 a los 7 mm, en acabado liso o grafilado, con una resistencia a la tensión de  $170 \text{ kg/mm}^2$ . Se utiliza en la fabricación de viguetas pretensadas, placas alveolares, prelosas, poste ganadero y durmientes.

El *cable trenzado o torón* se forma de un alambre central alrededor del cual se enrollan helicoidalmente otros de menor diámetro. El cable más usado es el de siete hilos o alambres del mismo tipo descrito en el párrafo anterior. Deben cumplir la norma de fabricación *ASTM A416* "Especificación Normalizada para Torón de Acero, de Siete Alambres Sin Recubrimiento para Concreto Preesforzado".

El torón de presfuerzo tiene 3 diámetros comerciales, de 9.52 mm ( $3/8"$ ), 12.70 mm (0.5") y 15.24 mm (0.6"). Tiene 2 presentaciones de acabado, desnudo o con cubierta de polietileno.

**Figura 7.** Cable trenzado o torón



*Nota:* Adaptada de *Torón de Presfuerzo* [Ilustración], por DEACERO, 2024, (<https://www.deacero.com/tor%C3%B3n-de-presfuerzo>).

La barra o varilla corrugada para presfuerzo tiene una mayor rigidez a la flexión que el acero de refuerzo. Debe cumplir con la norma de fabricación *ASTM A722* "Especificación Normalizada para barras de Acero de Alta Resistencia para Concreto Presforzado".

Tienen diámetros comerciales desde los 19 mm ( $3/4"$ ) hasta 35 mm ( $1\frac{3}{8}"$ ), con una resistencia a la tensión de 1,035 MPa. Pueden ser roscadas en los extremos para fijar las placas que la mantendrán tensada.

**Figura 8.** Cable trenzado o torón en el extremo del molde

*Nota:* Planta GSA, Texcoco [Fotografía], por Departamento de Construcción, abril de 2024. Colección personal del autor.

#### 4.4.3.2 Moldes.

Para la fabricación de elementos estructurales los moldes deberán construirse suficientemente rígidos para poder soportar su propio peso y la presión del concreto fresco, generalmente son de acero, concreto o madera. Los moldes de madera deben ser sellados con materiales que eviten la absorción y prevenir la deformación por humedad. Los de concreto deben tratarse con una membrana de poliuretano que tape el poro de la superficie para evitar la adherencia con el concreto fresco y permitir el desmolde de la pieza sin daños. Cuando se usen de acero se asegurará que no exista corrosión, bordes de soldadura o desajustes en las juntas.

Algunos moldes están fabricados de tal forma que los cables o torones de presfuerzo se anclan en los extremos del mismo molde. A estos moldes se les denomina autotensables y pueden ser de concreto o de acero. Los moldes autotensables de acero transmiten la fuerza del presfuerzo mediante canales, vigas o tubos adosados a los lados del molde. Deben ser lo suficientemente rígidos para soportar la fuerza sin pandearse o deformarse fuera de las tolerancias permitidas.

**Figura 9.** Mesa de tensado para fabricación de viguetas de alma cerrada



*Nota:* Mesa de tensado en Planta Cemposa, Tepetzotlán [Fotografía], por Departamento de Construcción, abril de 2024. Colección personal del autor.

**Figura 10.** Moldes metálicos para fabricación de losa alveolar



*Nota:* Moldes metálicos para fabricación de losa alveolar en Planta CEMPOSA, Tepetzotlán [Fotografía], por Departamento de Construcción, abril de 2024. Colección personal del autor.

Las mesas de colado en una planta de prefabricados son líneas de producción de gran longitud. La longitud de las mesas varía de acuerdo con las limitaciones de las plantas entre 60 y 150 m dependiendo del tipo de elemento. El presforzado simultáneo de varios elementos a la vez en una misma mesa de colado tiene como resultado una gran economía de mano de obra, además de eliminar el costoso herraje del anclaje en los extremos, propios del postensado. En los extremos de la mesa de colado se colocan bloques de concreto enterrados en el suelo que reciben el nombre de “muertos”, son de dimensiones y peso tales que resisten el momento de volteo que produce la fuerza de tensado.

**Figura 11.** *Moldes metálicos para fabricación de losa TT*



*Nota: Moldes metálicos para fabricación de losa TT en Planta GSA, Texcoco [Fotografía], por Departamento de Construcción, abril de 2024. Colección personal del autor.*

#### 4.4.3.3 Equipo de Tensado.

Para el tensado de cables se requieren de gatos hidráulicos y bombas adecuadas al molde y la tensión que se aplicará.

Un gato de tensado como el que se muestra en la figura 12 tiene una capacidad de 25 ton y una carrera de 500 mm. Puede tensar torones de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y de 0.6" de forma automática, es decir, jalan el torón varias veces hasta llegar a la tensión programada.

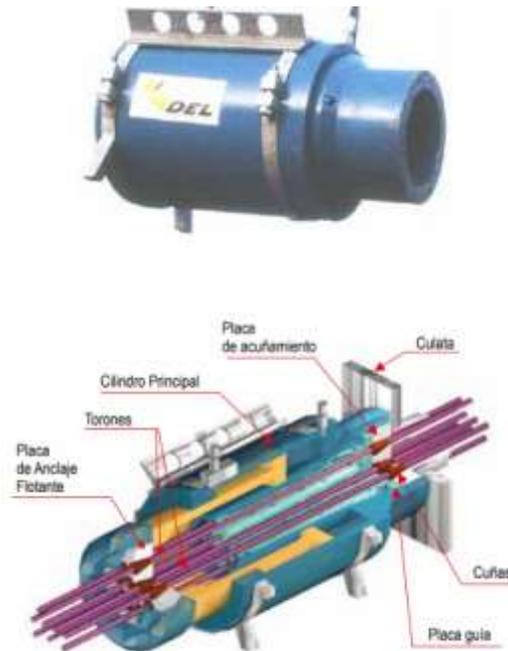
El gato tensor de un solo alambre garantiza que se aplique una tensión igual a cada alambre o torón del tendón. Para la fábrica de prefabricados donde se debe tensar una gran cantidad de tendones todos los días en condiciones constantes los fabricantes de equipo recomiendan utilizar un gato tensor de cuatro mangueras.

**Figura 12.** *Equipo para tensado de torones*



*Nota:* Adaptada de *Productos: PAUL - Gato de tensado 250kN y 500 mm de carrera, con bomba hidráulica NG50* [Fotografía,] por HERCAP, s.f., (<https://hercab.com/producto/33/p-a-u-l-gato-de-tensado-250k-n-y-500-mm-de-carrera-con-bomba-hidraulica-n-g50>).

Para concreto postensado, el tensado se realiza muchas veces en campo y se requiere de equipos ligeros, pero de gran potencia. En la figura 13 se muestra un equipo para postensado, estos pueden tener pesos entre 100 kg y hasta 600 kg, pero existen modelos mucho más pesados y de mayor capacidad que son utilizados en obras de infraestructura.

**Figura 13.** Gato multitorón tipo E

Nota: Adaptada de *Postensado Multitorón* [Archivo PDF], por MEXPRESA, s.f., (<https://www.mexpresa.com/pdf/postensado-multitoron.pdf>).

#### 4.4.4 Elementos Estructurales de Concreto Presforzado.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de elementos estructurales comunes y especiales. Existen en el mercado distintos fabricantes que deben cumplir con la norma mexicana NMX-C-406-ONNCCE-2019, "industria de la construcción componentes estructurales prefabricados de concreto para sistemas de losas – especificaciones y métodos de ensayo". Esta Norma Mexicana establece las especificaciones mínimas y métodos de ensayo que deben cumplir los componentes estructurales prefabricados de concreto que se utilizan para la construcción de todo tipo de sistemas de losas de concreto para toda clase de edificaciones y es aplicable a los componentes estructurales prefabricados de concreto tales como viguetas pretensadas, vigueta de alma abierta, vigas tubulares, placas alveolares, bandas, placas y similares.

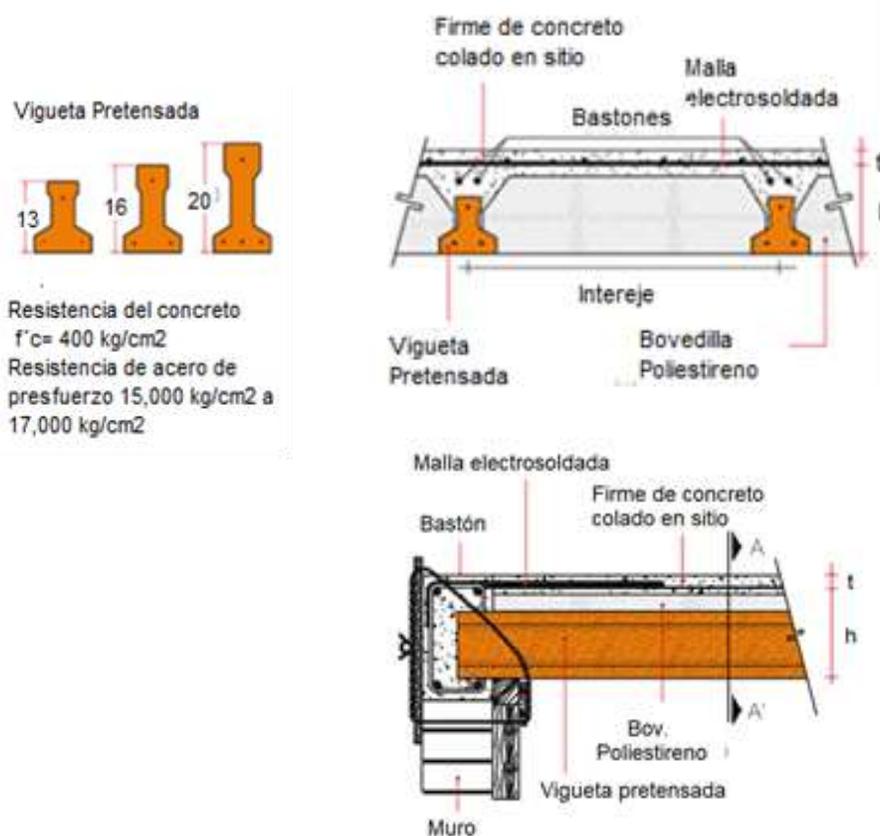
Para los elementos estructurales presforzados especiales, debe atenderse el capítulo 15.4 de la NTC-concreto "Requisitos para concreto presforzado".

#### 4.4.4.1 Secciones Comunes.

##### 4.4.4.1.1 Sistemas de Piso de Vigueta y Bovedilla.

La losa está constituida básicamente por viguetas pretensadas colocadas con una separación estándar de 70 cm entre ejes y elementos aligerantes conocidos como bovedillas que se cubren con un firme de concreto reforzado con malla electrosoldada. La bovedilla puede ser de poliestireno o de concreto. En la figura 14 se muestran las medidas comerciales de la vigueta pretensada. Su aplicación principal es en viviendas de interés medio y residencial, edificios de mediana altura, estacionamientos, escuelas. Pueden cubrirse claros de hasta 8 metros dependiendo de la carga, el sistema puede tener un peso de 155 a 370 kg/m<sup>2</sup>.

**Figura 14.** Sistema de piso con vigueta pretensada de alma cerrada



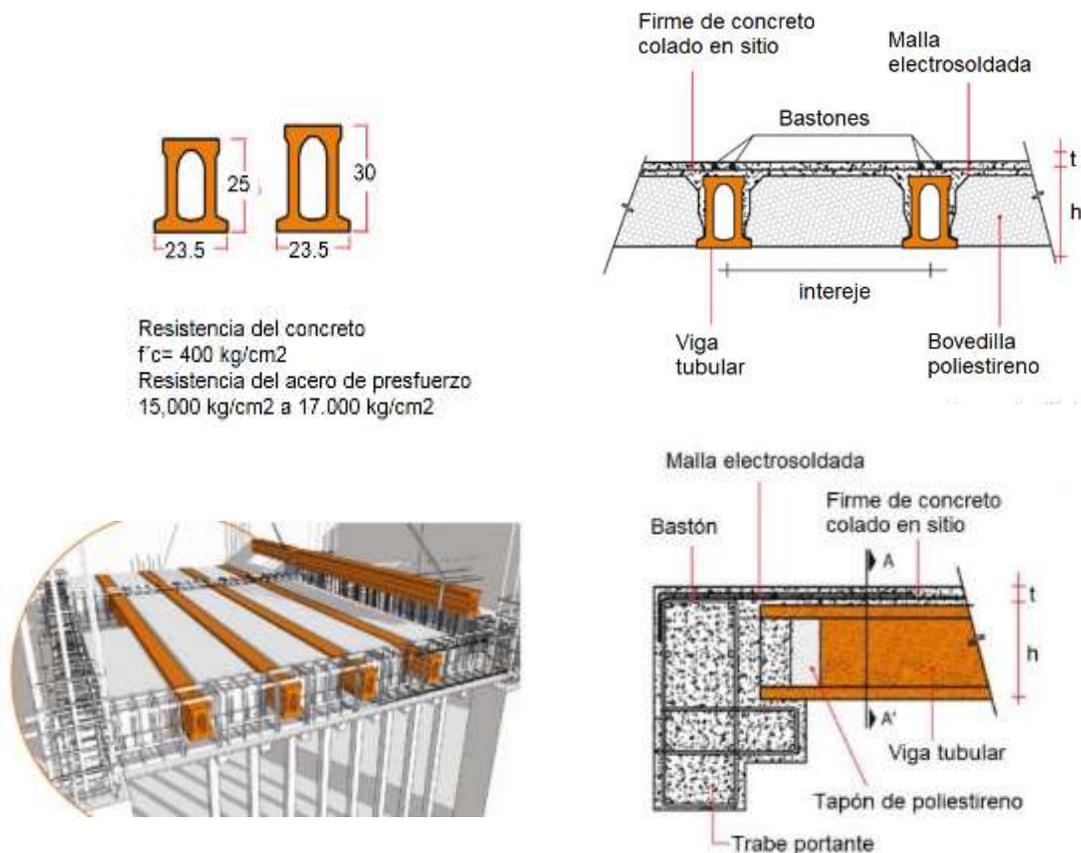
*Nota:* Adaptada de *Soluciones en prefabricados de concreto* [Archivo PDF], por PREMEX, s.f., ([https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo\\_pdf\\_web.pdf](https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo_pdf_web.pdf)).

#### 4.4.4.1.2 Sistema de Piso con Viga Tubular.

La losa está constituida por viguetas tubulares pretensadas, tienen una sección rectangular hueca, se colocan a una distancia de 100 cm entre ejes, el elemento aligerante son bovedillas de poliestireno, se cuela un firme de concreto reforzado con malla electrosoldada. En la figura 15 se muestran las medidas comerciales de la viga tubular pretensada. Se aplica en edificios de medianas y grandes alturas, plazas comerciales, hoteles, auditorios, naves industriales, teatros, entre otros.

Pueden cubrirse claros hasta de 12 m. El peralte total del sistema puede ser de 36 a 40 cm, y tener un peso por metro cuadrado de 270 a 390 kg/cm<sup>2</sup>. Para su izaje se requiere de grúa.

**Figura 15.** Sistema de piso con viga tubular pretensada



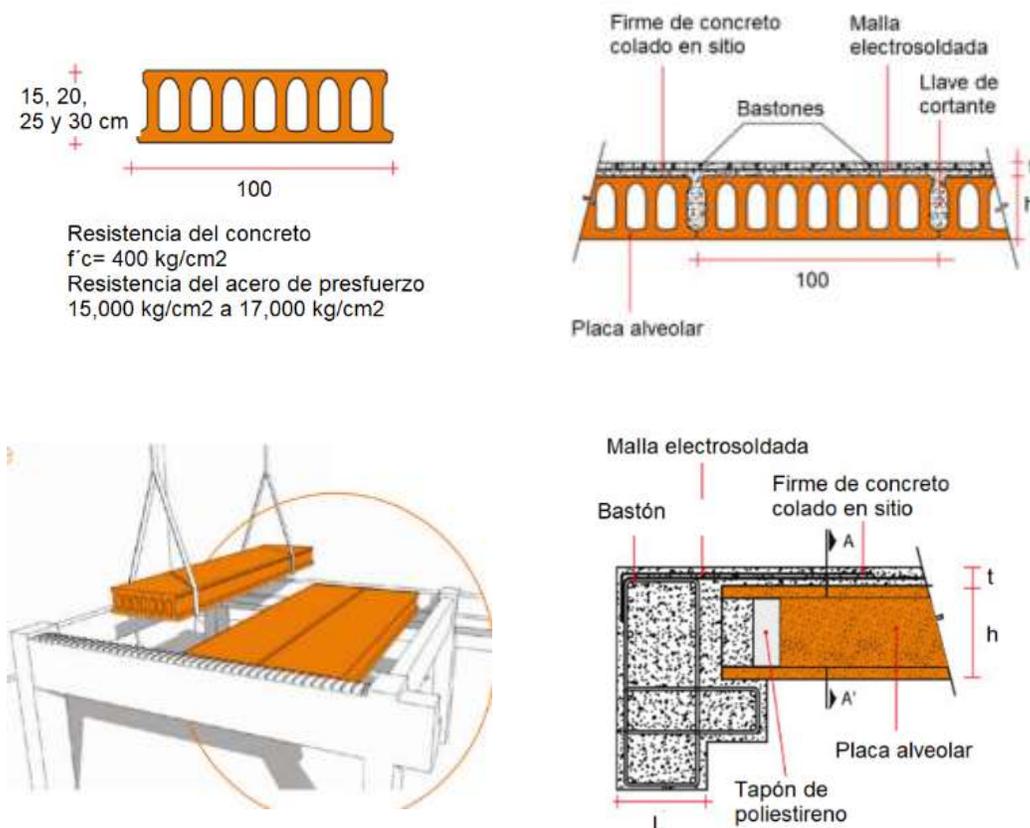
*Nota:* Adaptada de *Soluciones en prefabricaos de concreto* [Archivo PDF], por PREMEX, s.f., ([https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo\\_pdf\\_web.pdf](https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo_pdf_web.pdf)).

#### 4.4.4.1.3 Sistema de Piso con Placa Alveolar.

Losa constituida por unidades prefabricadas de concreto presforzado, las cuales tienen huecos llamados alveolos. Tienen 1 m de ancho y es un sistema unidireccional. Sobre estos elementos se cuele un firme de concreto el cual es reforzado con malla electrosoldada. Se aplica en edificios de medianas y grandes alturas, plazas comerciales, hoteles, auditorios, naves industriales, puentes, hospitales, entre otros.

Se pueden cubrir claros de hasta 14 m, el peralte total del sistema puede ser de 21 a 40 cm, según su peso y el claro cubierto, así como un peso por metro cuadrado de 270 a 390 kg/cm<sup>2</sup>. Para su izaje se requiere de grúa. En la figura 16 se muestran las medidas comerciales.

**Figura 16.** Sistema de piso con placa alveolar

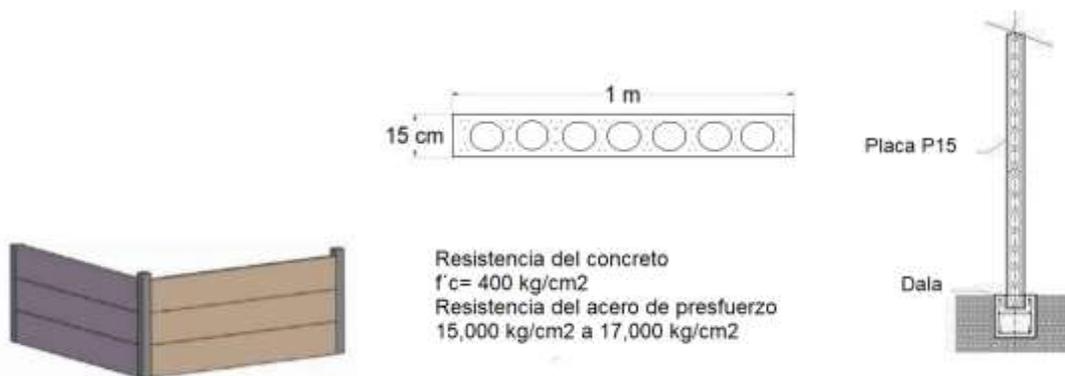


*Nota:* Adaptada de *Soluciones en prefabricados de concreto* [Archivo PDF], por PREMEX, s.f., ([https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo\\_pdf\\_web.pdf](https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo_pdf_web.pdf)).

#### 4.4.4.1.4 Sistema de Muro a Base Placa Alveolar.

Muro constituido por unidades prefabricadas de concreto presforzado, los cuales tienen alveolos que aligeran el peso del elemento. Las placas son de 1 m de ancho y 15 cm de espesor. Se conectan en los extremos con un sistema de machihembrado. El sistema es unidireccional. Se utiliza como muro divisorio en unidades habitacionales, centros comerciales, estacionamientos, escuelas y hospitales. También puede utilizarse como muro de contención. Pueden tener una longitud máxima de 6 m. El peso del sistema es de 222 kg/m<sup>2</sup>.

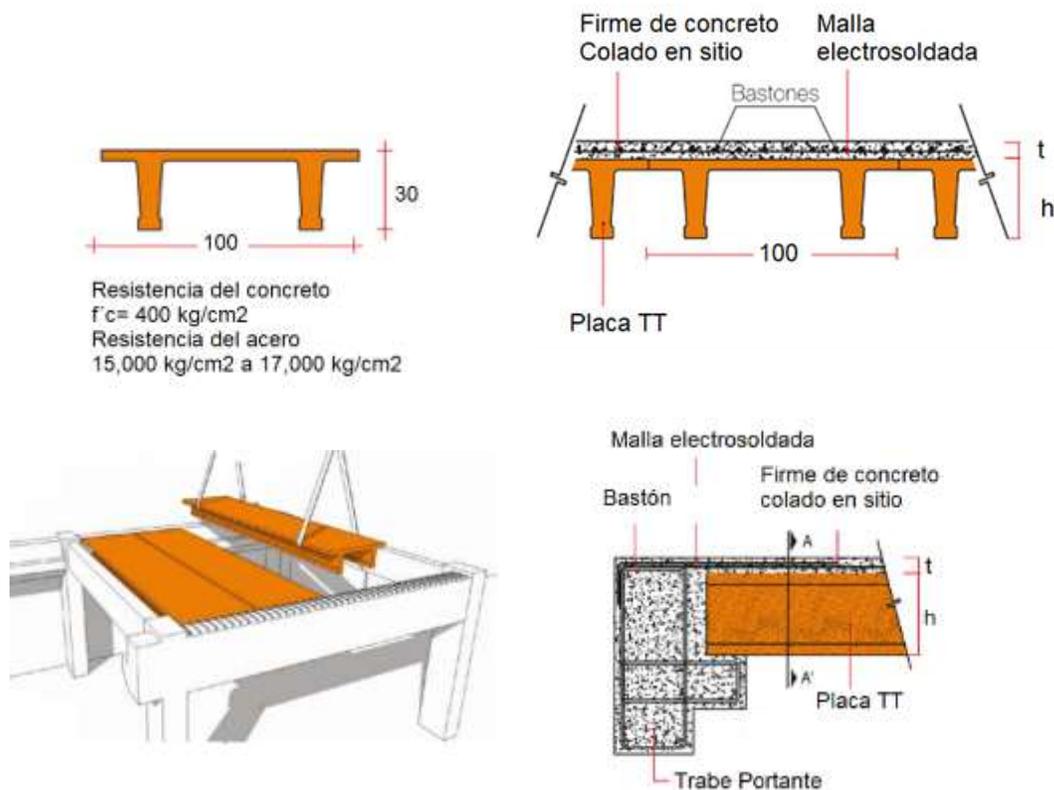
**Figura 17.** Sistema de muro con placa alveolar



*Nota:* Adaptada de *Soluciones en prefabricaocs de concreto* [Archivo PDF], por PREMEX, s.f., ([https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo\\_pdf\\_web.pdf](https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo_pdf_web.pdf)).

#### 4.4.4.1.5 Sistema de Piso a Base de Placa TT.

Losa constituida por unidades prefabricadas de concreto presforzado, la cual consiste en placas TT con ancho de 1 m. Sobre estos elementos se cuele un firme de concreto que se refuerza con malla electrosoldada. Se utiliza en edificios de medianas y grandes alturas: Centros comerciales, hoteles, bodegas, naves industriales y estacionamientos, entre otros. Puede cubrir claros de hasta 10 m. El sistema tiene un peralte entre 36 y 41 cm, y un peso de 312 a 350 kg/cm<sup>2</sup>. Necesitan un apoyo mínimo de 10 cm en los extremos y que tengan refuerzo por continuidad en los extremos.

**Figura 18.** Sistema de piso con placa TT

*Nota:* Adaptada de *Soluciones en prefabricados de concreto* [Archivo PDF], por PREMEX, s.f., ([https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo\\_pdf\\_web.pdf](https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo_pdf_web.pdf)).

**Figura 19.** Almacenamiento de losa TT

*Nota:* Almacenamiento de losa en Planta GSA, Texcoco [Fotografía], por Departamento de Construcción, abril de 2024. Colección personal del autor.

#### 4.4.4.2 Secciones Especiales.

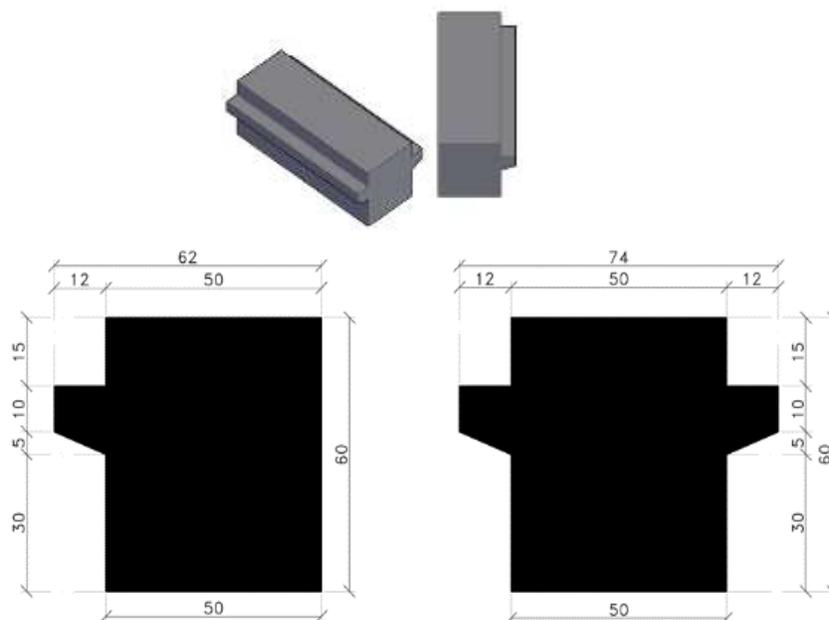
Además de los elementos comerciales, los fabricantes ofrecen el servicio de diseñar y fabricar traveses y columnas para cada caso particular, de manera que la estructura de cualquier proyecto de edificación de concreto reforzado puede ser construido con elementos de concreto presforzado.

El concreto postensado también tiene aplicaciones en los elementos estructurales de edificación, aunque la técnica se utiliza con más frecuencia en proyectos de infraestructura como puentes de dovelas prefabricadas, puentes con traveses cajón, puentes en voladizo, puentes atirantados, anclaje en el terreno, silos, tanques y torres.

##### 4.4.4.2.1 Traveses

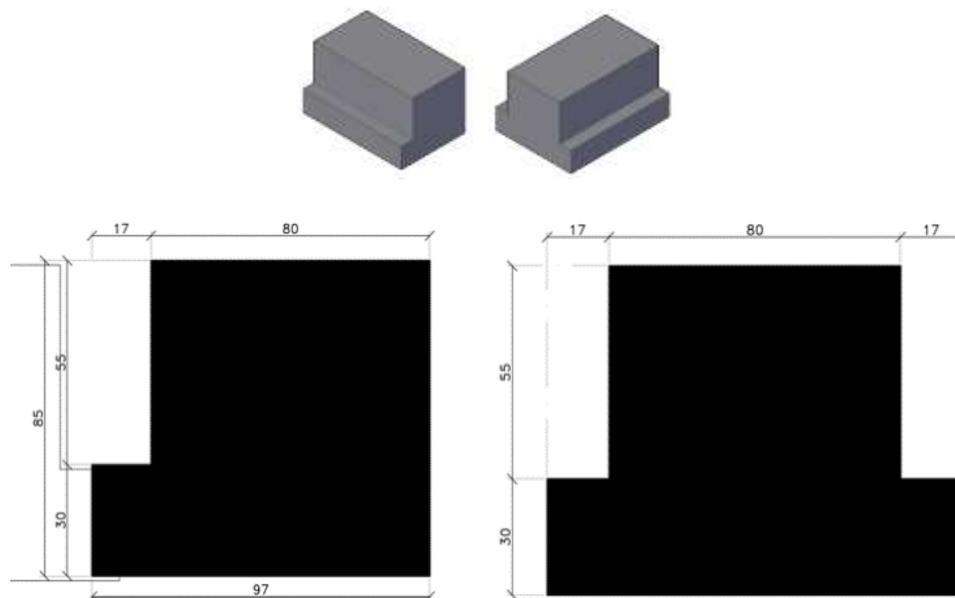
Las figuras 20 y 21 muestran secciones típicas de traveses pretensados, se puede observar que se tienen preparaciones en los extremos para ser colocadas en columnas coladas en sitio prefabricadas, a lo largo de la trabe se tiene preparaciones para recibir un sistema de losa alveolar.

**Figura 20.** Trabe portante presforzada con ancho de 50 cm



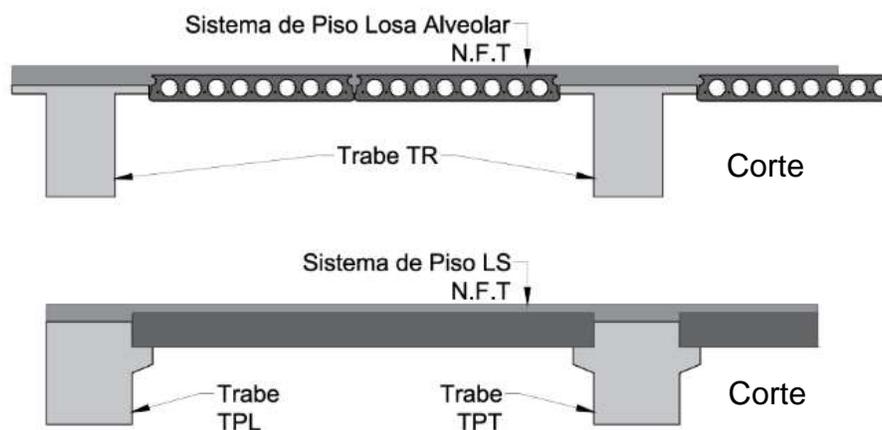
*Nota:* Trabe portante presforzada de 50 cm de ancho [Esquema], por Departamento de Construcción, mayo de 2024. Colección personal del autor.

**Figura 21.** Trabe portante presforzada con ancho de 80 cm



*Nota:* Trabe portante presforzada de 80 cm de ancho [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

**Figura 22.** Trabe portante y sistema de piso alveolar



*Nota:* Trabe portante y sistema de piso alveolar [Esquema], por Departamento de Construcción, mayo de 2024. Colección personal del autor.

#### 4.4.4.2.2 Columnas.

Las columnas pretensadas pueden ofrecer dos tipos de uniones con las traves:

- a) **Unión nodo:** Como se ilustra en la figura 23, este tipo consiste en dejar preparaciones de acero descubierto en la parte superior o en puntos intermedios para colocar la trabe que a su vez también tendrán acero descubierto, la unión se colocará concreto de las mismas características con que se elaboraron los elementos.
- b) **Unión con capitel:** Esta opción facilita la colocación de los elementos, pues como se observa en la figura 24, ya no se requieren de actividades adicionales al montaje, además se ha comprobado que tienen un buen desempeño en caso de sismo.

**Figura 23.** Columna con unión nodo



*Nota:* Adaptada de *Estructuras prefabricadas de concreto: Uniones Trabe-Columna (Unión tipo nodo)* [Fotografía], por COPRESA, s.f., (<https://copresa.mx/estructuras-prefabricadas-de-concreto/>).

**Figura 24.** *Columna con unión con capitel*

*Nota:* Adaptada de *Estructuras prefabricadas de concreto: Uniones Trabe-Columna (Unión con capitel)* [Fotografía], por COPRESA, s.f., (<https://copresa.mx/estructuras-prefabricadas-de-concreto/>).

Estas columnas pueden ser colocadas sobre zapatas, también prefabricadas, a las cuales se les llama zapatas tipo candelero debido a que la columna se inserta dentro del dado.

#### 4.4.4.2.3 Losas.

El sistema de postensado en losas permite que se pueda construir con claros mayores, menor espesor y menos peso que se transmite a las columnas.

El acero de postensado se coloca en el interior de la losa junto con el acero de refuerzo. El diseño estructural definirá la cantidad de cables, el diámetro y la tensión que se aplicará cuando el concreto haya alcanzado el 80% de su resistencia.

En la figura 25 se muestra un ejemplo de losa aligerada con casetones en donde, el acero de postensado se identifica porque tiene un recubrimiento plástico color verde. El cable

o torón se coloca a lo largo de las nervaduras, en el perímetro de la losa se colocan los separadores y las placas para aplicar la fuerza de tensado.

**Figura 25.** Cable de postensado en losa aligerada con casetones

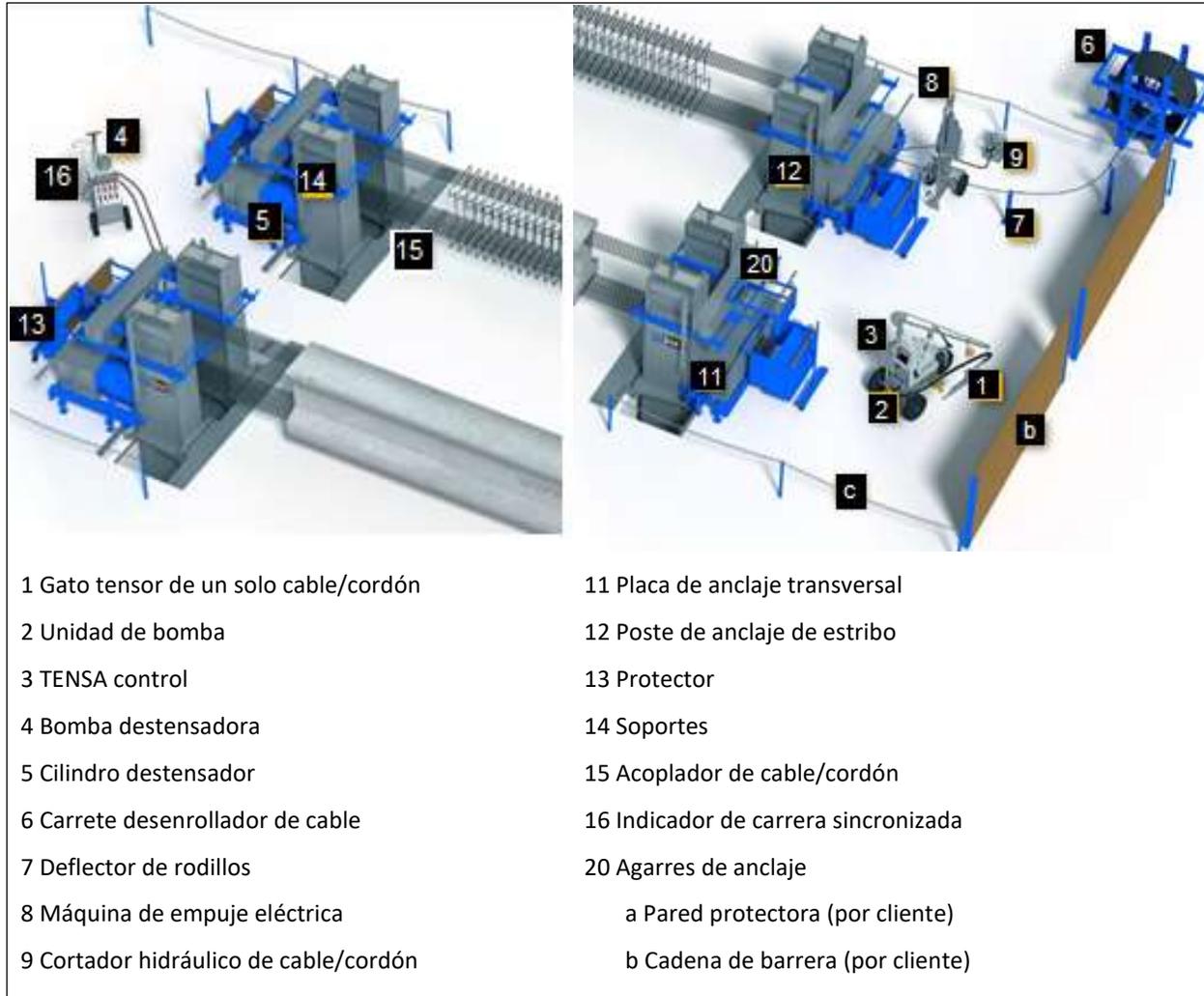


*Nota:* Cable de postensado en losa aligerada con casetones [Fotografía], por Departamento de Construcción, octubre de 2014. Colección personal del autor.

#### 4.4.5 Fabricación

La fabricación de elementos pretensados necesita de instalaciones y equipos especiales para asegurar la buena calidad de estos. En la figura 26 se muestran los elementos principales de una mesa de trabajo de elementos pretensados

**Figura 26.** Componentes de una mesa de pretensado



*Nota:* Adaptada de *Prestressed concrete production in the precast plant* [Archivo PDF], por Prestressed Concrete Technology, 2024, Paul Maschinenfabrik ([https://prestressed-concrete.paul.eu/fileadmin/Files/prestressed-concrete/B147.26\\_02-en.pdf](https://prestressed-concrete.paul.eu/fileadmin/Files/prestressed-concrete/B147.26_02-en.pdf))

En el diagrama de la figura 27 se muestra el proceso general de fabricación de elementos pretensados y postensados.

**Figura 27.** Diagrama general de fabricación de elementos pretensados y postensados

Nota: Adaptado de *notas de Grupo TICONSA* [Diagrama], por Grupo TICONSA 2000. Link de las notas

1. **Limpieza de molde:** Se debe tener limpia el área de trabajo, hay que retirar escombros y materiales de trabajos previos. El molde será inspeccionado y en caso de encontrar deformaciones, se procederá a enderezarla y resanarla.
2. **Trazo de la pieza:** Se verifica la nivelación, alineación y relación de centros de gravedad entre la mesa y el molde para evitar excentricidades fuera de la capacidad de la mesa.

### 3. Habilitado

- 3.1. **Habilitado del acero de refuerzo:** Se hará tratando de aprovechar al máximo la longitud de la varilla. En esta etapa se identifican los diferentes problemas que se pueden presentar con entrecruzamiento de varillas, accesorios, ductos, traslapes, torones, soldaduras de varilla, ganchos de izaje, etcétera.
- 3.2. **Habilitado del acero de presfuerzo:** Se cortará el torón considerando la longitud de la mesa más una longitud de aproximadamente 30 cm, en cada extremo para colocación de mordazas y tensado.
- 3.3. **Accesorios metálicos bulbos y ganchos de izaje:** Los accesorios metálicos se fabricarán de acuerdo con lo que marca el proyecto. Para la aplicación de la soldadura se dará un tratamiento previo que consiste en despuntar la varillas y precalentándolas, aplicándose a continuación la soldadura. Los ganchos de izaje están formados a base de acero estructural y varillas.
- 3.4. **Cimbra de aligeramiento:** En los elementos prefabricados que proceda (trabes cajón, por ejemplo) se prepara la cimbra recuperable para la zona de aligeramiento de la trabe o elemento de que se trate.

Los bastidores deben ser atornillables haciendo los ajustes necesarios con madera, generalmente en los extremos.

4. **Armado de acero de refuerzo (principal).** El armado se hará fuera de la mesa, pero lo más cerca posible para evitar traslados excesivos. Los accesorios serán colocados durante este proceso. Se recomienda una revisión final para verificar: cantidad de estribos. diámetros de los mismos, posición, cantidad de varillas longitudinales y diámetro, traslapes, pasos para ductos, pasos para torón,



posición de diafragmas, cantidad y posición de accesorios, espesor de recubrimientos.

5. **Colocación del armado dentro del molde:** La colocación dentro del molde del armado se hará por medio de grúas sobre camión o grúas pórtico auxiliándose con una estructura para evitar que el armado se deforme.
6. **Enhebrado de cable:** Esta actividad variará dependiendo del tipo de trabes o elementos que se trate (losas doble tee, tees, trabes. o columnas). ya que en el caso de las trabes cajón el enhebrado se tendrá que hacer antes de colocar el aligeramiento. En el caso de gradas el enhebrado se tendrá que hacer hasta que el armado este dentro del molde ya que la mayoría de los cables se localizan en la losa. Durante esta actividad se colocarán las mangueras que sirven de engrase. Para tener un control más adecuado sobre el enhebrado, se numerarán cada uno de los orificios de las placas guía con el fin de que los cables queden en su posición correcta y no se tenga problemas al momento del tensado.
7. **Tensado de cables longitudinales:** Por medio de la unidad de tensado se estirarán los cables de uno en uno, se deberá de ir tensando en forma simétrica tanto en el sentido vertical como horizontal. Durante esta operación se recomienda retirar el personal que esté trabajando cerca de la mesa ya que podría reventarse un cable y provocar un accidente.

**Figura 28.** *Colocación de mordazas en extremo de molde*



*Nota: Colocado de mordazas en extremo de molde [Fotografía], por Departamento de Construcción, mayo de 2023. Colección personal del autor.*

8. *Colocación de cimbra de aligeramiento y ductos:* El aligeramiento se colocará dependiendo del tipo de trabe que se trate.

Los ductos y demás detalles que lleven las trabes se detallaran y fijaran de una forma que impida el movimiento durante el colado.

9. *Armado de losa:* La losa tendrá las parrillas de acuerdo a proyecto se le colocarán los suficientes separadores que sirvan para garantizar los recubrimientos.

10. *Tensado de torones transversales:* Para el caso que existan torones transversales, se contará con una estructura en forma de marco la cual soportará la carga temporal del presfuerzo que posteriormente y en el momento oportuno se inducirá a la pieza. El procedimiento de tensado será por medio de dos canales por los cuales se pasarán los torones y se anclarán con sus respectivas mordazas.

11. *Detallado final y autorización de colado:* El detallado final se realizará principalmente en taponés, ductos, acero de refuerzo, cables de losa y cimbras

adicionales como podrán ser de recortes o algún paso. Antes de proceder al colado se hará una revisión general de los elementos y así poder dar el visto bueno de inicio de colado.

12. **Colado:** Durante esta etapa se deberá vigilar los siguientes puntos:

*Dosificación, revenimientos, colocación, compactación, muestreo:*

13. **Curado:** después del colado, la superficie fresca del concreto expuesta al sol y al viento puede perder tal cantidad de agua que ocasione su fraguado y contracción aun cuando el cuerpo del concreto este todavía en estado plástico: Esto se evitará cubriendo la superficie e inyectando vapor a baja temperatura y presión. La aplicación del vapor será a partir de que el concreto haya alcanzado su fraguado inicial y puede alcanzarse aproximadamente a las tres o cuatro horas, dependiendo de la temperatura ambiente y de la cantidad de aditivo que se le aplique.

14. **Prueba de resistencia a la compresión:** Esta prueba generalmente se realizará en la planta de prefabricados, deberá cumplir según la norma NOM-C-155

15. **Extracción:** Si la resistencia de los cilindros se encontrara dentro del rango que marque el proyecto, se procede a inducir el presfuerzo a los elementos. El corte del torón se tendrá que hacer en forma simétrica, además de que tendrá que ser al mismo tiempo tanto en los extremos como entre pieza y pieza para evitar esfuerzos diferenciales en la mesa. Ya liberadas totalmente las piezas, se extraerán las piezas con las grúas pórtico que se tendrán para las maniobras en planta. Al momento de que la pieza salga del molde, se revisará para detectar los detalles que tengan que corregirse.

**Figura 29.** Grúa pórtico para movimiento de piezas





*Nota: Grúa pórtico para movimiento de piezas en Planta CEMPOSA [Fotografía], por Departamento de Construcción, mayo de 2023. Colección personal del autor.*

16. **Estibado o almacenado de las piezas:** Las piezas se estibarán en un terreno firme y con los suficientes apoyos.

17. **Detallado:** Los detalles normales que se tienen que realizar son: Recorte de puntas de torón, cabeceo y terminación de los extremos. El resane de pequeñas despostilladuras o golpes se arreglara con un grout no metálico y un adhesivo, verificar drenes, marcado de identificación y orientación.

**Figura 30.** Almacenamiento de placa alveolar



*Nota: Almacenamiento de placa alveolar en Planta CEMPOSA [Fotografía], por Departamento de Construcción, mayo de 2023. Colección personal del autor.*

#### 4.4.6 Transporte y Colocación

1. **Carga:** Para poder cargar la pieza y llevarla al montaje, se requerirá tener el visto bueno tanto de producción como de la supervisión por lo que se hará una revisión final en la que se indicará el estado final de la pieza.

Para esta actividad será necesario tener preparado el equipo adecuado: tractores, plataformas, estrobos, apoyos y arneses adecuados para poder maniobrar con seguridad y sin dañar las piezas. Se debe tener mucho cuidado de no izar de una manera inadecuada, ni golpear los elementos.

2. **Transporte:** Se requerirá conocer la ruta por la cual se transportarán las piezas y el horario adecuado para llevarlo a cabo, con un adecuado estudio de riesgo por parte de los grupos de montaje y transporte.

Así mismo, se tendrá un programa calendarizado y con identificación de elementos para disminuir al máximo el tiempo de estiba en obra.

3. **Montaje:** Se hará un estudio específico para cada caso y área de montaje. el cual deberá respetar las normas de seguridad mínima establecidas por el cliente en el contrato.

Se deberá también tener un estudio particular de la obra en cuestión para el Montaje de la estructura. El uso de modelos 3D, permite identificar los obstáculos que pueden presentarse al momento de realizar esta maniobra.

**Figura 31.** Modelo BIM para colocación de elementos presforzados



Nota: Fotografía tomada por GLLB septiembre 2023 estación observatorio Tren Interurbano

**Figura 32.** Colocación de elementos presforzados

*Nota:* Estación Observatorio del Tren Interurbano, CDMX [Fotografía], por Departamento de Construcción, marzo de 2024. Colección personal del autor.

### ***Conclusión Capitular***

La necesidad de cubrir claros muy largos y soportar grandes cargas requirió que los ingenieros innovaran nuevas formas de aprovechar las propiedades del concreto y el acero. El resultado fue el desarrollo del concreto presforzado.

Todo elemento estructural de concreto reforzado puede tener como alternativa constructiva la utilización de concreto presforzado. Esto abre la posibilidad de construir en menor tiempo y costo, pero también requiere que un mayor número de involucrados (constructores, diseñadores, fabricantes, transportistas, etcétera) tengan intercambio de información clara y precisa.

La utilización de elementos estructurales de concreto presforzado requiere de conocimientos especializados y actualización constante de los responsables. En este breve escrito, se trató de mostrar algunas soluciones constructivas que actualmente se disponen. Su aplicación requiere conocimientos más profundos por lo que se invita a los estudiantes interesados en la materia a que obtengan más información, consultando a las asociaciones de fabricantes y empresas que comercializan estos productos y servicios.



## **Bibliografía**

- Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y la Prefabricación A.C. (2024). *Historia del presfuerzo* [Archivo PDF]. Jimcontent. Disponible en <https://sda4b555bf9352dbf.jimcontent.com/download/version/1298721051/module/4717158865/name/EI%20preesforzado.pdf>.
- COPRESA. (s.f.a). *Estructuras prefabricadas de concreto: Uniones Trabe-Columna (Unión con capitel)* [Fotografía]. <https://copresa.mx/estructuras-prefabricadas-de-concreto/>
- COPRESA. (s.f.b). *Estructuras prefabricadas de concreto: Uniones Trabe-Columna (Unión tipo nodo)* [Fotografía]. <https://copresa.mx/estructuras-prefabricadas-de-concreto/>
- DEACERO. (2024). *Torón de Presfuerzo*. <https://www.deacero.com/tor%C3%B3n-de-presfuerzo>
- FREYSSINET. (2019). Las Realizaciones. *Structure Magazine Edición especial*, (3), 8-17. [http://www.freyssinet.es/freyssinet/wfreyssinet\\_sp.nsf/1E340019E089CCF0C12584EA00599A87/\\$file/FREYSSINET-MAG\\_HORS%20SERIE%2075%20ANS\\_ESP.PDF](http://www.freyssinet.es/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/1E340019E089CCF0C12584EA00599A87/$file/FREYSSINET-MAG_HORS%20SERIE%2075%20ANS_ESP.PDF)
- Grupo TICONSA. (2000). *Procedimiento Constructivo de Elementos Prefabricados de concreto*. Grupo TICONSA
- HERCAB. (s.f.). *Productos: PAUL - Gato de tensado 250kN y 500 mm de carrera, con bomba hidráulica NG50* [Fotografía]. <https://hercab.com/producto/33/p-a-u-l-gato-de-tensado-250k-n-y-500-mm-de-carrera-con-bomba-hidraulica-n-g50>
- MEXPRESA. (s.f.). *Postensado Mutitorón* [Archivo PDF]. Disponible en <https://www.mexpresa.com/pdf/postensado-multitoron.pdf>
- Orozco Zepeda, F. J. (2006). *Temas fundamentales del concreto presfuerzo*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- PREMEX. (s.f.). *Soluciones en prefabricados de concreto* [Archivo PDF]. Disponible en [https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo\\_pdf\\_web.pdf](https://www.premex.com.mx/uploads/1/3/8/6/138665329/catalogo_pdf_web.pdf)



Prestressed Concrete Technology. (s.f.). *Prestressed concrete production in the precast plant* [Archivo PDF]. Paul Maschinenfabrik. Disponible en [https://prestressed-concrete.paul.eu/fileadmin/Files/prestressed-concrete/B147.26\\_02-en.pdf](https://prestressed-concrete.paul.eu/fileadmin/Files/prestressed-concrete/B147.26_02-en.pdf)

Reinoso Angulo, E., Rodríguez, M. E. y Betancourt Ribotta, R. (Eds.). (2000). *Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas*. ANIPPAC; Instituto de Ingeniería UNAM.

Villasana-Torres, Col. (28 de mayo de 2016). La Ciudad en el Tiempo: Estadio Azteca, 50 años. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/galeria/metropoli/cdmx/2016/05/28/la-ciudad-en-el-tiempo-estadio-azteca-50-anos/>



**Lista de Figuras**

<b>Figura 1.</b> <i>Puente Luzancy, Francia</i> .....	2
<b>Figura 2.</b> <i>Estadio Azteca en construcción, Ciudad de México</i> .....	2
<b>Figura 3.</b> <i>Deformaciones y agrietamientos en vigas de concreto</i> .....	5
<b>Figura 4.</b> <i>Componentes básicos en un elemento presforzado</i> .....	6
<b>Figura 5.</b> <i>Componentes básicos del pretensado</i> .....	6
<b>Figura 6.</b> <i>Componentes básicos del postensado</i> .....	7
<b>Figura 7.</b> <i>Cable trenzado o torón</i> .....	9
<b>Figura 8.</b> <i>Cable trenzado o torón en extremo de molde</i> .....	10
<b>Figura 9.</b> <i>Mesa de tensado para fabricación viguetas de alma cerrada</i> .....	11
<b>Figura 10.</b> <i>Moldes metálicos para fabricación losa alveolar</i> .....	11
<b>Figura 11.</b> <i>Moldes metálicos para fabricación de losa TT</i> .....	12
<b>Figura 12.</b> <i>Equipo para tensado de torones</i> .....	13
<b>Figura 13.</b> <i>Gato multitorón tipo E</i> .....	14
<b>Figura 14.</b> <i>Sistema de piso con vigueta pretensada de alma cerrada</i> .....	15
<b>Figura 15.</b> <i>Sistema de piso con viga tubular pretensada</i> .....	16
<b>Figura 16.</b> <i>Sistema de piso con placa alveolar</i> .....	17
<b>Figura 17.</b> <i>Sistema de muro con placa alveolar</i> .....	18
<b>Figura 18.</b> <i>Sistema de piso con placa TT</i> .....	19
<b>Figura 19.</b> <i>Almacenamiento de losa TT</i> .....	19
<b>Figura 20.</b> <i>Trabe portante presforzada ancho 50 cm</i> .....	20
<b>Figura 21.</b> <i>Trabe portante presforzada ancho 80 cm</i> .....	21
<b>Figura 22.</b> <i>Trabe portante y sistema de piso alveolar</i> .....	21
<b>Figura 23.</b> <i>Columna con unión nodo</i> .....	22
<b>Figura 24.</b> <i>Columna con unión con capitel</i> .....	23
<b>Figura 25.</b> <i>Cable de postensado en losa aligerada con casetones</i> .....	24
<b>Figura 26.</b> <i>Componentes de una mesa de pretensado</i> .....	25
<b>Figura 27.</b> <i>Diagrama general de fabricación de</i> <i>elementos pretensados y postensados</i> .....	26
<b>Figura 28.</b> <i>Colocación de mordazas en extremo de molde</i> .....	28
<b>Figura 29.</b> <i>Grúa pórtico para movimiento de piezas</i> .....	30



<b>Figura 30.</b> Almacenamiento de placa alveolar.....	31
<b>Figura 31.</b> Modelo BIM para colocación de elementos presforzados .....	32
<b>Figura 32.</b> Colocación de elementos presforzados.....	33

**Agradecimiento a las empresas CEMPOSA Planta Tepetzotlán (<https://www.facebook.com/cemposa/videos/2857136017762310/>) y Grupo GSA (González Soto y Asociados) Planta Texcoco, por permitirnos visitar y documentar sus instalaciones.**

**Este trabajo fue desarrollado por académicos y alumnado adscrito al Departamento de Construcción de la División de Ingenierías Civil y Geomática, principalmente por el M. en I. Guillermo Llanos Bonilla y el estudiante Fausto Francisco Gutiérrez Jiménez. Se utilizaron recursos del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME PE101724).**

**Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)**

**Facultad de Ingeniería (FI)**

**Dirección General de Asuntos  
del Personal Académico  
(DGAPA)**

