

# **HORMIGÓN PRETENSADO**

## **UNIDADES ESTRUCTURALES PREFABRICADAS**

**Tesina realizada por: Alexis Jacovenco Balsiger**

## Resumen

Este trabajo consiste en una exploración sobre el comportamiento del hormigón pretensado, aplicándolo al estudio de las características técnicas y los procesos de diseño y producción de las unidades prefabricadas. Se analizan además, las posibilidades proyectuales que brinda y su incidencia en los procesos y tiempos de obra.

El objetivo del trabajo es analizar distintos aspectos referentes a estas unidades estructurales, desde los factores técnicos que nos permiten entender su forma de trabajo, pasando por los factores pragmáticos de su producción y puesta en obra, hasta aspectos de índole proyectual, que nos permiten acercarnos al estudio de aplicaciones concretas.

## Introducción

El trabajo se estructura en cuatro ejes temáticos complementarios entre sí, que nos permiten construir una idea cabal y ordenada sobre la prefabricación de elementos pretensados y sus aplicaciones.

En primera instancia, se parte de la base que es fundamental presentar los conceptos teóricos que nos permitan entender la forma de trabajo del hormigón pretensado. Para ello, se toman aquellos aspectos que resultan más relevantes para este estudio.

Vistos estos conceptos, estamos en condiciones de profundizar en aspectos propios de las unidades prefabricadas, presentando fundamentos técnicos en cuanto a materiales y procesos de diseño y dimensionado de las mismas por un lado; y entendiendo como son y cómo funcionan los elementos que se fabrican en nuestro medio.

Por otra parte nos enfocamos en factores de índoles más bien pragmático, para los cuales es fundamental tener presentes las bases teóricas, así es que se estudian los aspectos referentes a producción y puesta en obra.

Finalmente, el análisis se completa estudiando las posibilidades que le brindan estos elementos al proyecto arquitectónico, para ello se estudian aplicaciones concretas.

De esta forma es posible formar una idea global de la prefabricación de elementos pretensados.

### HORMIGÓN PRETENSADO: CONCEPTOS GENERALES

Pretensar el hormigón, es una técnica que consiste en someterlo a esfuerzos de compresión previos a que tome cargas exteriores. El objetivo es eliminar los esfuerzos de tracción del hormigón, introduciendo tensiones artificiales de compresión antes de que la estructura sea sometida a cargas externas. Luego que la estructura es sometida a cargas externas, la superposición entre estas y las cargas de pretensado, debe ser tal que las tensiones permanentes queden comprendidas dentro de los límites que el material puede soportar.

La utilización de hormigón pretensado surge buscando superar los inconvenientes que implica la utilización de hormigón armado. Se utiliza buscando aliviar la estructura y evitar la aparición de fisuras. Por un lado, la estructura de hormigón armado presenta el inconveniente de que su gran peso no la hace adecuada para programas en los que se requiere salvar grandes luces. En cuanto a las fisuras, su aparición en el hormigón armado se debe a que el hormigón que recubre a las armaduras está traccionado. Las fisuras son perjudiciales considerando que las armaduras quedan expuestas a los factores climáticos que causan su corrosión.

Para entender el comportamiento de las cargas, tomaremos como ejemplo, el caso de una viga simplemente apoyada.

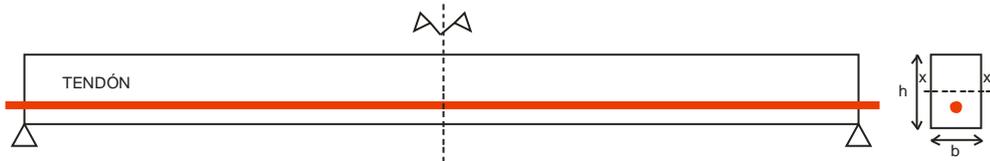
Antes de someter la viga a cargas exteriores, esta se encuentra trabajando a compresión, y su diagrama es triangular. Al ser cargada por cargas exteriores, se ve sometida a esfuerzos de compresión y tracción, que sumados con el esfuerzo de compresión del pretensado, se eliminan las tracciones.



## COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN PRETENSADO:

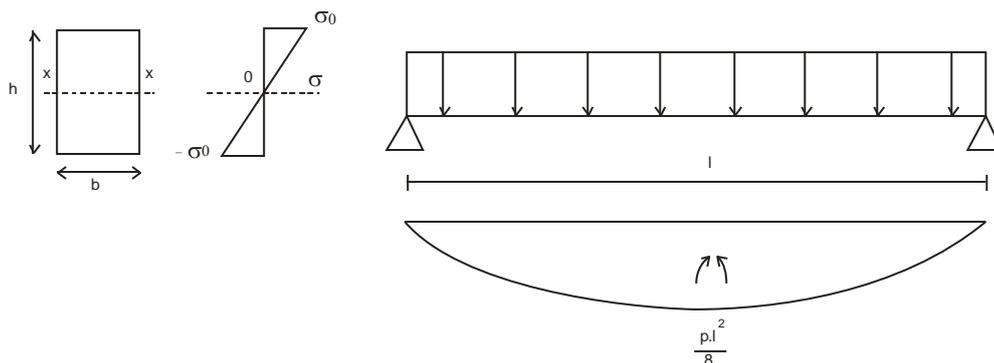
Analizaremos el procedimiento de pretensado para una viga simplemente apoyada sometida a carga uniforme.

Se introduce un tendón en la viga y se pretensa. Luego veremos que este tendón puede ser una o varias barras de acero, que pueden tensarse antes o después del hormigonado.

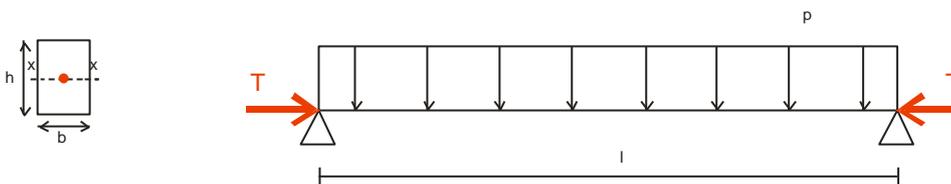


El tendón es sometido a tracción en el proceso de pretensado. Debe ser anclado con topes en sus extremos. Luego de liberados los topes de anclaje, el hormigón impide el acortamiento, generando precompresión. Esto último, es lo que evita que en el hormigón se den esfuerzos de tracción.

Analicemos la posición relativa del tendón, respecto al eje de la pieza. Para ello, veamos primeramente, como sería (en función del flector) el diagrama de solicitaciones de una viga simplemente apoyada que puede resistir tracciones:

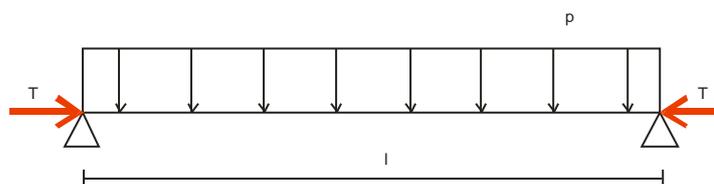


Veamos el caso de un tendón lineal centrado, es decir, colocado en el centro de gravedad de la pieza:

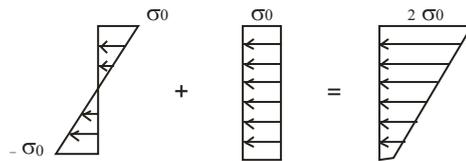
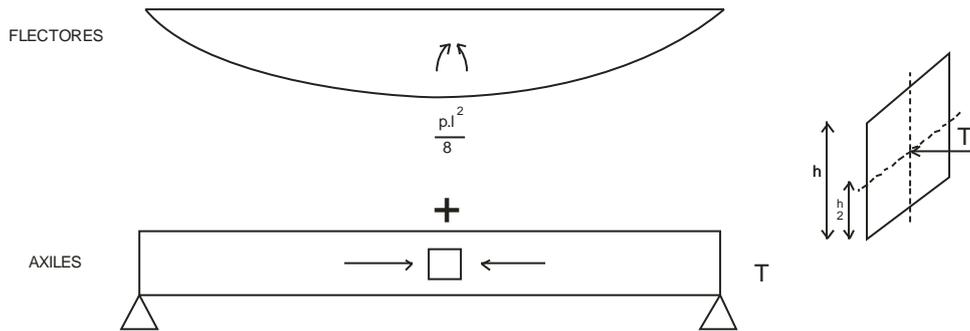


La pieza estará sometida al peso (suma de peso propio y cargas externas) y a la tensión de precompresión.

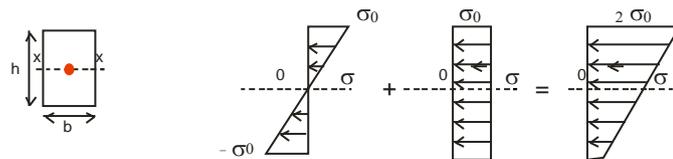
Se aplica una tensión de pretensado, tal que las compresiones a causa del pretensado igualan a las tracciones a causa del peso.



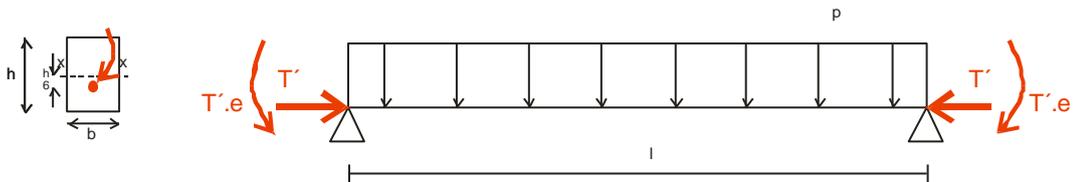
Calculamos los flectores y los axiles, y las sollicitaciones en la sección central como consecuencia de la suma de ambos esfuerzos:



El resultado obtenido es el de una pieza que está sometida solamente a compresión, es decir, no hay tracciones, pero cabe observar que las compresiones son muy altas.

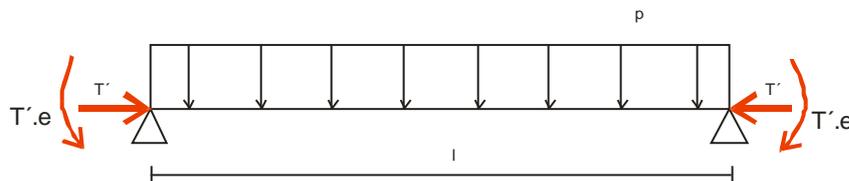


Veamos el caso de un tendón lineal descentrado, es decir, colocado a cierta distancia del centro de gravedad de la pieza, para la cual tomaremos una distancia  $h/6$ :

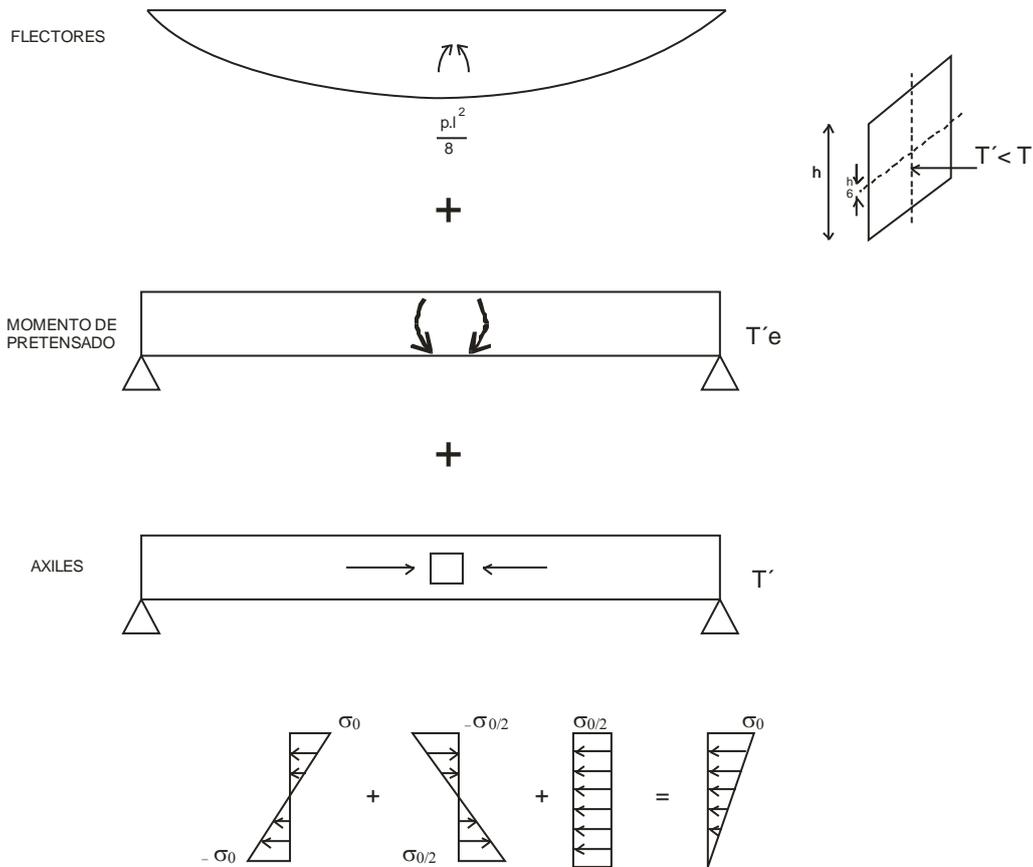


Ahora la pieza además de estar sometida por un lado al peso (suma de peso propio y cargas externas) y por otro a la tensión de precompresión, también está sometida a un momento generado por la excentricidad del tendón.

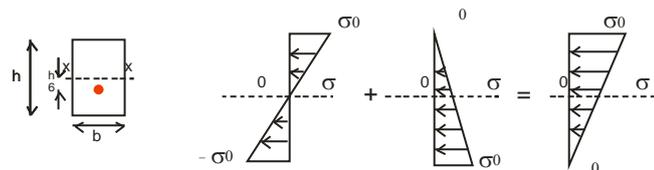
Se aplica una tensión de pretensado, tal que si estuviera centrada en el eje de la pieza, las compresiones a causa del pretensado serían menores a las tracciones a causa del peso.



Calculamos ahora los flectores (causados por  $p$  y por la aplicación descentrada de la carga) y los axiles, y las sollicitaciones en la sección central como consecuencia de la suma de ambos esfuerzos:



El resultado obtenido es el de una pieza que está sometida solamente a compresión, es decir, no hay tracciones, y las compresiones son menores, siendo la máxima la de pretensado.



Esta explicación nos permite entender a grandes rasgos el comportamiento de una estructura pretensada. No obstante, cabe señalar que esta explicación es una simplificación de la realidad, ya que intervienen otros factores que no se han tenido en cuenta en este análisis. Nos referimos al acortamiento del hormigón por retracción y fluencia y también a la relajación isotérmica de las armaduras activas, es decir, su pérdida de tensión a lo largo del tiempo debido a la temperatura. Estos efectos reducen la precompresión. De todos modos, este ejemplo es válido sabiendo que es un análisis esquemático que requiere ser complementado con la consideración de estos fenómenos.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Esta sección está basado en Apuntes de la Universidad de la Coruña y en el libro Hormigón Pretensado de Lacroix y Fuentes.

## SISTEMAS DE PRETENSADO: ARMADURAS PRETESAS Y POSTESAS

Las armaduras se clasifican en pretesas o postesas de acuerdo a si son tensadas antes o después del proceso de hormigonado.

### Estructuras de hormigón pretensado con armaduras pretesas:

También conocido como pretensado por pre-tensión. El tendón o armadura, se ancla y se tesa en forma previa al hormigonado de la pieza. Luego que el hormigón ha endurecido, se suprime el efecto de los anclajes cortando las armaduras activas, por lo que las armaduras comprimen a la pieza de hormigón y la fuerza de pretensado es transmitida por adherencia hormigón-acero.

### Estructuras de hormigón pretensado con armaduras postesas:

También conocido como pretensado por pos-tensión. El tendón o armadura, se tesa en forma posterior al hormigonado de la pieza, para ello se deja en el interior del hormigón, un conducto o vaina en el que se alojan las armaduras y luego de su endurecimiento se anclan las armaduras en un extremo, se tesan y se anclan en el otro extremo. Luego de ello se inyectan en el interior de las vainas materiales que protejan a las armaduras contra la corrosión, tratándose algunas veces de materiales adherentes como lechada de cemento.

Si bien ambas formas de pretensado son utilizadas en la producción de elementos prefabricados, la primera es la mas común. Las armaduras postesas implican un menor grado de industrialización, ya que de haberlo, son tesadas luego de la puesta en obra del elemento.

Por lo tanto, centraremos nuestro análisis en comprender el funcionamiento de las estructuras de hormigón pretensado con armaduras pretesas, por tratarse de la forma de pretensado más utilizada en la fabricación de los elementos que estamos estudiando. Eso no quiere decir que no se aborden aspectos propios de las armaduras postesas, ya que lo mismo se hará, especialmente a modo comparativo.

### **Hormigón pretensado con armaduras pretesas:**

Al enfocarnos en este tema, es fundamental aclarar que esta forma de pretensado siempre se aplicara a elementos prefabricados. Esto implica que el elemento es producido íntegramente en taller, lo que significa mayores controles de calidad.

Veamos a continuación la fundamentación del proceso:

- 1- Tenemos un alambre sin tensar que se alarga al someterlo al proceso de pretensado.



- 2- Luego de tensionado se anclan las armaduras en bancos y se procede a hormigonar.



- 3- Cuando el hormigón ha endurecido lo suficiente se liberan los anclajes, destensando así los alambres. El hormigón impide el acortamiento de los alambres y de esta forma, estos generan la precompresión del hormigón.



### Características del hormigón pretensado con armaduras pretesas:

Debido a que, como se explico, el anclaje se logra por adherencia hormigón-acero, es necesario utilizar alambres corrugados que mejoren dicha adherencia.

Las zonas sometidas a mayores solicitaciones son los extremos próximos a los anclajes. Es en base a los esfuerzos a los que se ve sometido el hormigón en esas zonas, que se determina el endurecimiento que el mismo debe alcanzar antes de liberar el anclaje de las armaduras.

Siempre se utilizan armaduras rectilíneas ya que si bien es posible elevar la armadura próxima a los extremos de una pieza flexionada, esto implicaría cuidados debido a los puntos de inflexión, que no son viables en el modo de producción utilizado.

Una alternativa para ajustarse a la variación de los flectores, es rompiendo la adherencia, para ello se dejan zonas en que las armaduras son inactivas, vendando o entubando el acero próximo a los apoyos.

La adherencia hormigón-acero asegura un correcto recubrimiento de las armaduras, lo cual es de gran importancia ya que el acero se encuentra trabajando bajo tensiones importantes.

### **Comparación entre ambas formas de pretensado:**

Esta comparación no busca ser la de ventajas y desventajas ya que estos conceptos son relativos a las necesidades del proyecto que se esté ejecutando.

El pretensado con armaduras pretesas se realiza en taller, lo que conlleva mayores controles de calidad. En cambio, en el pretensado con armaduras postesas, el procedimiento de tensión de las armaduras siempre se realiza in-situ, aunque haya un grado parcial de prefabricación de la pieza.

Como se explico anteriormente, para armaduras pretesas, son de difícil ejecución los armados no rectilíneos. Eso hace más difícil hacer variar la precompresión ajustándose a la variación de los flectores. Al trabajar con armaduras postesas estas limitaciones son menores.

La utilización de armaduras postesas permite mayor libertad de diseño pero también implican mayores controles y tiempos de obra. Al trabajar con piezas prefabricadas con armaduras pretesas, el proyectista debe considerar sus características desde las primeras etapas del proyecto, ya que debe adaptarse a los productos existentes, mas allá de que existen empresas dispuestas a fabricar un producto pedido especialmente. Los tiempos de obra se ven claramente acortados al trabajar con piezas prefabricadas.

## CAPITULO 2: UNIDADES PREFABRICADAS DE HORMIGÓN PRETENSADO

A continuación, veremos las principales características de los elementos que estamos estudiando.

Para definir las es importante enfocarnos en las propiedades de los materiales que se utilizan. El hormigón y las armaduras deben reunir ciertas propiedades que los diferencian de los utilizados para hormigón armado.

Por otro lado, el producto obtenido, es un componente importante a la hora de definir un proyecto arquitectónico, con características que determinan la resistencia y el diseño en general.

Finalmente, estudiaremos algunos aspectos fundamentales para el diseño y dimensionado de estas unidades estructurales.

### PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

Como decíamos, se deben contemplar exigencias propias del hormigón pretensado, que implican mayores requerimientos en cuanto a las propiedades de los materiales.

En cuanto al hormigón, las propiedades a considerar para su estudio, son las mismas que se aplican en el estudio del hormigón armado, pero con las mayores exigencias propias del pretensado, se estudia la resistencia, granulometría, naturaleza de los áridos, relación agua-cemento y métodos de compactación.

En hormigón pretensado se requiere una mayor resistencia mecánica del hormigón debido a que se aprovecha la totalidad de la sección trabajando a compresión. Además, el hormigón de alta resistencia tiene menor retracción y fluencia, lo que permite una menor pérdida de la fuerza de pretensado.

También es de gran importancia que la retracción sea pequeña. La retracción es la contracción que experimenta el hormigón, cuando el fraguado se da al aire libre y es mayor cuando se emplean altas dosificaciones de cemento, gran cantidad de agua, arenas muy absorbentes y con elevado porcentaje de finos, dependiendo además del contenido de humedad del ambiente.

El calor de fraguado inicial debe ser bajo, ya que el calor es almacenado en el interior, originándose diferencias de temperatura por el enfriamiento exterior, lo que produce tracciones próximas a la superficie de un hormigón que aún no puede resistirla, originándose así fisuras.

En cuanto a la granulometría, es conveniente que esta sea discontinua ya que la retracción, fluencia y el calor de fraguado son menores, cuanto menos mortero se necesita para que la estructura interna del hormigón sea compacta. La granulometría discontinua, implica mayor proporción de árido grueso, lo que implica menor superficie de árido a adherir con el cemento.

El tamaño de árido está determinado por la cuantía de la armadura. Se debe dar prioridad a la adherencia hormigón-acero, por lo que el árido debe pasar libremente a través de las armaduras.

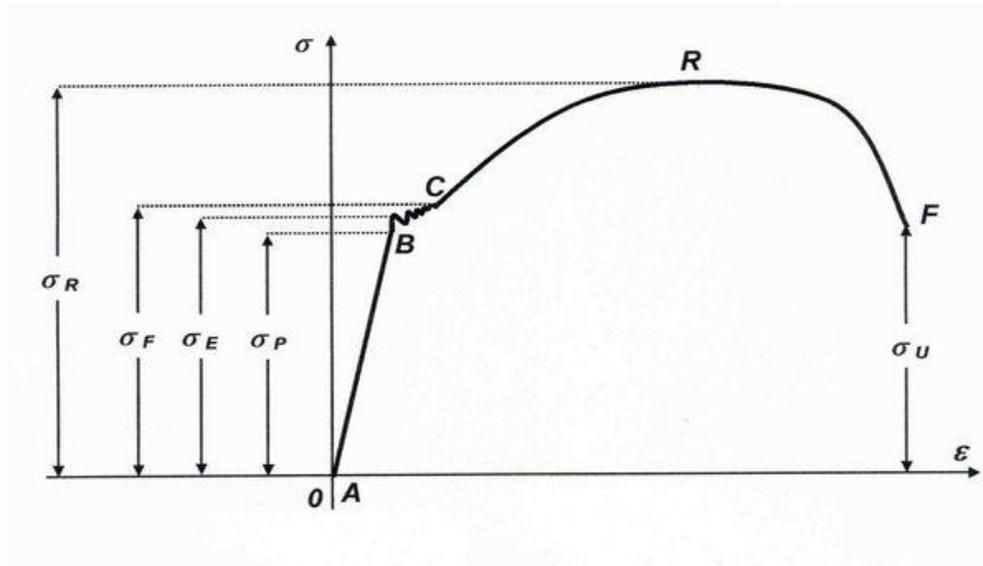
Los áridos deben estar libres de arcilla, materia orgánica y sulfatos. De haber una proporción de arcilla mayor al 6% del volumen de árido, este debe ser lavado.

La resistencia depende de la relación agua-cemento, es decir, la relación peso de agua sobre peso de cemento, incluyendo la cantidad de agua presente en los áridos. Si se compacta con vibradores, una cantidad de agua elevada resulta perjudicial, debido a que se produciría segregación.

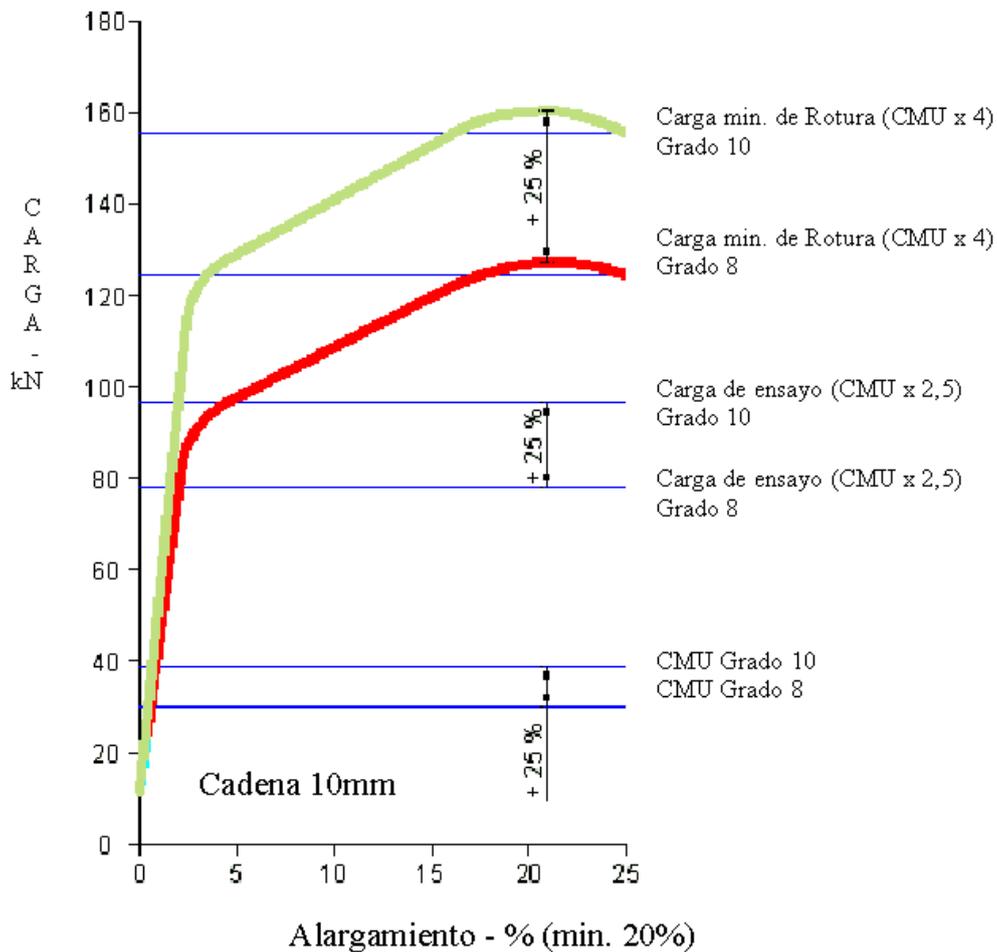
En cuanto al acero, las armaduras activas deberán ser de alta resistencia y elevado límite elástico. Esto se debe al relajamiento o fluencia al que se ve sometido el acero en tensión, traduciéndose en una pérdida de tensión. Si no se emplearan armaduras de alta resistencia la tensión de la armadura sería insignificante o quedaría anulada.

El acero duro o de elevado límite elástico puede ser aprovechado hasta cerca de su límite elástico debido a la proporcionalidad y regularidad en la zona de rotura (a diferencia del acero común), como se aprecia en la curva de resistencia.

Curva de resistencia del acero común:



Curva de resistencia del acero de elevado límite elástico:



## ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PRETENSADO:

A continuación veremos las características técnicas de los diferentes elementos existentes en el mercado. Las mismas son muy generales ya que a la hora de tomar partido por su utilización, el técnico a cargo del proyecto, debe consultar las especificaciones del fabricante.

En algunos casos, se trata de sistemas integrales, por lo que, la distinción que hacemos en este análisis es por fines operativos. La solución buscada, determina el tipo de sistema por el cual se opta. En algunos casos los sistemas integrales son los elegidos, pero en obras de intervención o en programas para los que ese tipo de soluciones no sean adecuadas, se opta por sistemas parciales. Por ese motivo, aquí se considera importante el análisis para cada tipo de elemento.

### Vigas:

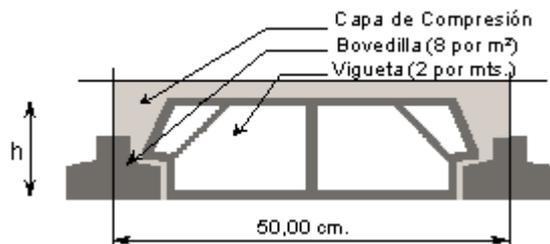
Dentro del marco que estamos analizando, las vigas prefabricadas, son elementos fabricados en taller con armaduras pretensas. Las secciones son de distinto tipo y dimensiones, de acuerdo a las cargas a soportar y las luces a salvar.

#### Vigas con sección doble T:

Las vigas prefabricadas con sección doble T, son elementos estructurales que permiten salvar importantes luces, que dependiendo del fabricante se encuentran en el orden de los 30 metros, pudiendo ser mayores en algunos casos. Su sección transversal depende de las luces a salvar y de las cargas, pero su diseño permite que la sección sea relativamente pequeña.

### Viguetas:

Las viguetas son utilizadas como elementos intermedios, para la conformación de losas. Entre vigueta y vigueta se colocan losetas de hormigón o cerámica, y en la cara superior una delgada capa de compresión de hormigón armado.



Algunos fabricantes, realizan viguetas de sección transversal de hormigón constante. En esos casos, las series de viguetas se diferencian entre sí por la cuantía de acero utilizado y por la excentricidad de las cargas de pretensado, adecuándose cada una de ellas a los diferentes requerimientos del cálculo estructural.

Por pedidos especiales, las viguetas de cada serie pueden fabricarse en largos mayores o menores a los especificados por el fabricante.

## Losas:

Las losas prefabricadas, son utilizadas para entresijos o cerramientos superiores. Existen diferentes tipos de losas que dependen de las luces a salvar, de las sobrecargas y de la terminación deseada.

### Losa hueca

Son elementos prefabricados aliviados por la presencia de perforaciones longitudinales, las caras superior e inferior son planas y los cantos son diseñados para su vinculación. Se producen en distintos anchos y espesores, que cumplen distintos requerimientos de luces y cargas.

La forma de la sección transversal y la presencia de acero pretensado, optimizan el aprovechamiento del hormigón, y lo hacen un elemento ideal para entresijos y cubiertas, por su elevada resistencia a la flexión.

La producción en pistas metálicas de las losas huecas, asegura una terminación inferior lisa que puede ser utilizada como hormigón visto. En algunos casos se utilizan como cerramiento vertical en distintas variantes.

Es necesario proveer una continuidad transversal, esto se consigue con el llenado de juntas. Tomemos un ejemplo en el que el perfil transversal de las losas es tal que al adosar una con otra, se establece el contacto sólo en el borde inferior. En este caso, el espacio que queda por arriba es de mayor ancho en su parte media que en la parte superior, el cual al ser macizado con hormigón genera una interacción que proporciona la continuidad requerida.



Sobre las losas huecas pretensadas, se coloca una capa de compresión de hormigón armado, colado en situ. En general, por una cuestión de economía y rapidez de ejecución, se prescinde de la capa de compresión, ya que este tipo de losas son autoportantes con el sólo llenado de las juntas. Esta es una diferencia fundamental con la losa de viguetas pretensadas, en la cual es estrictamente necesario el hormigonado superior. La capa de compresión debe tener un espesor mínimo de 4cm y llevar armadura (de malla por lo general).

*Algunas de las razones por las que se puede decidir ejecutar la capa de compresión son las siguientes:*

- *presencia de importantes cargas puntuales: se consigue una mejor distribución de esfuerzos.*
- *acciones laterales u horizontales de magnitud: se refuerza la hipótesis de diafragma.*
- *para mejorar las condiciones de resistencia y rigidez: en el caso que deba usarse por algún motivo losa hueca de altura reducida (limitación de los medios de montaje, altura final de la losa, etc.)*
- *absorción de momentos flectores negativos: se utiliza la capa de compresión para disponer armadura pasiva para los esfuerzos de tracción de voladizos o continuidad en apoyos.*
- *materialización de vigas placa: la capa de compresión proporciona la cabeza comprimida de este tipo de vigas.*

- *voladizos laterales: en estos casos puede disponerse la armadura necesaria de voladizo.*

Empresa TENSAR (Argentina)

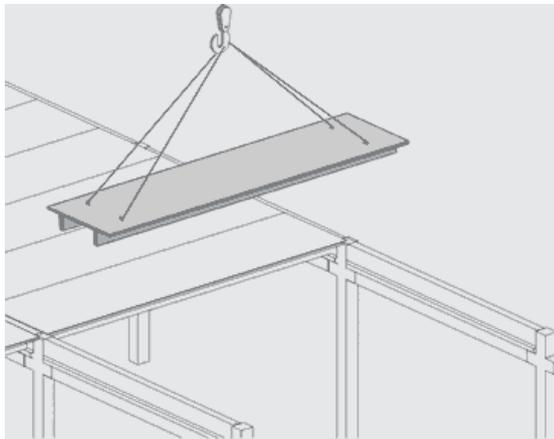
#### Losas con sección TT

*El Panel TT es un elemento premoldeado pretensado de gran capacidad resistente que permite ejecutar entresijos de grandes luces. Está conformado por una losa superior de espesor mínimo 5cm que provee la superficie útil del entresijo y dos nervios longitudinales cuya altura es variable hasta un máximo de 70 cm.*

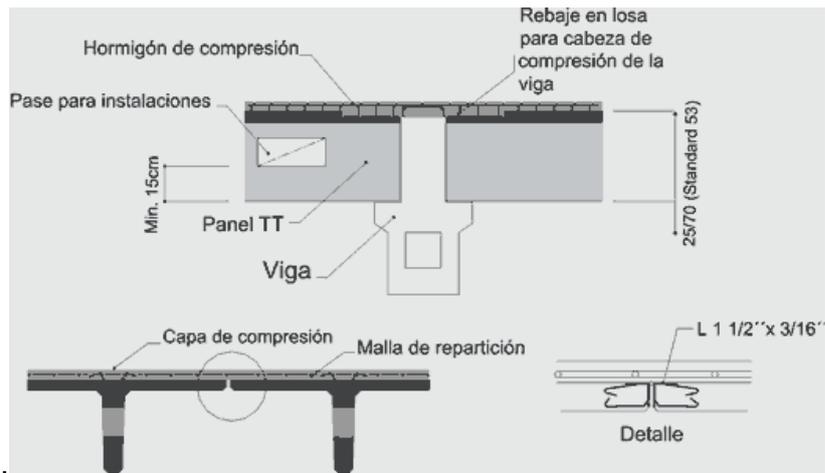
*Las alas se pueden reducir o eliminar, con el objeto de conseguir una mayor sobrecarga admisible del entresijo, cuando por razones de proyecto no sea posible aumentar la altura de los nervios. De esta forma se obtiene un ancho útil mínimo de 1,60m.*

Empresa TENSAR (Argentina)

Se colocan durante la fabricación esperas de izaje sobre la losa, en correspondencia con los nervios, que son utilizados para el montaje del cerramiento.

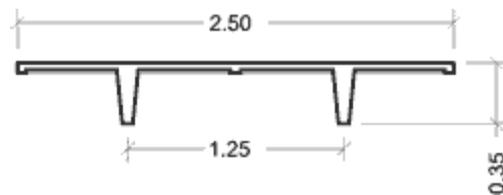


El apoyo de los paneles puede hacerse sobre diferentes tipos de viga de acuerdo a los requerimientos de alturas libres. Cuando se cuente con altura suficiente se pueden utilizar vigas doble T o rectangulares. Cuando se desea reducir la altura total que suman la viga y el panel, se puede optar por la utilización de viga cruz, la cual queda parcialmente incorporada en la altura de los paneles permitiendo distancias entre columnas superiores a los 10 m en ambas direcciones. El hormigonado en 2º etapa de una capa de compresión de un mínimo de 4 cm de espesor sobre los paneles, permite materializar la cabeza de compresión de la viga y así lograr una máxima eficiencia. Con la capa de compresión se aumenta la sobrecarga admisible del entresijo, se mejora la distribución de las cargas y se consigue una superficie nivelada como para recibir cualquier tipo de piso.



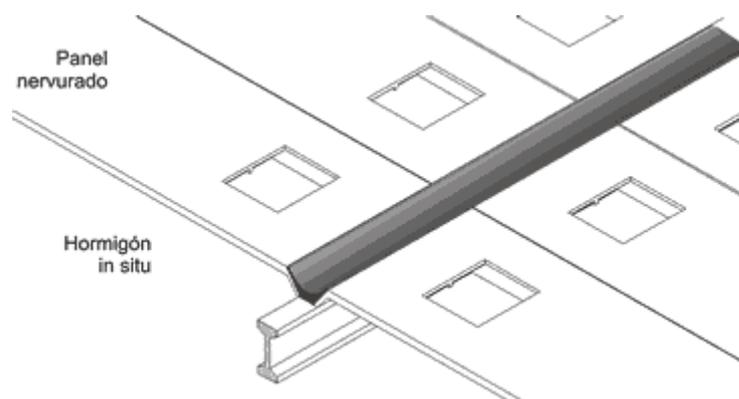
### Losa Nervada con sección TT:

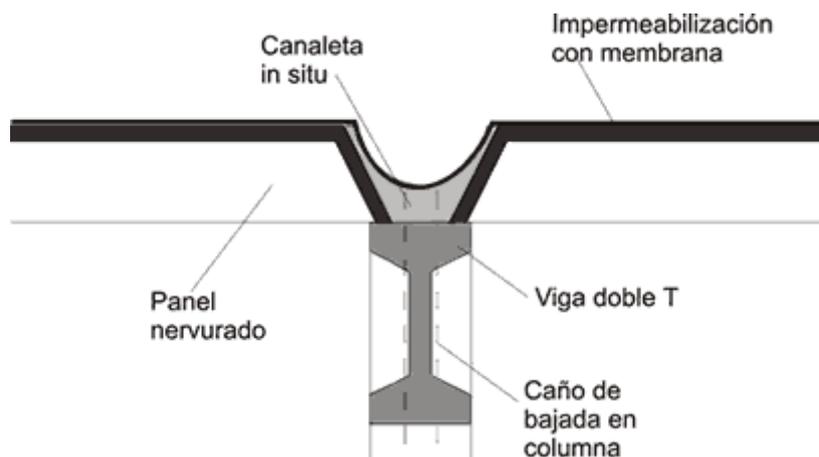
Consiste en una losa como la descrita en el punto anterior, que además tiene nervios menores a los longitudinales, sobre la cara inferior de la losa superior.



Los paneles pueden apoyarse sobre vigas transversales, tabiques premoldeados autoportantes, muros de mampostería o cualquier otro tipo de estructura.

El desagüe de pluviales se realiza en el sentido longitudinal del elemento, desde el centro hacia los extremos cerrados, debido a la contraflecha con que se fabrican. El sistema, en el caso del apoyo sobre viga doble T, se completa con el hormigonado in situ y posterior al montaje de la canaleta sobre la cabeza de la viga, con pendientes hacia las bajadas de pluviales, que pueden estar incorporadas en el interior de los pilares.





### Placas para cerramientos verticales:

También existen diferentes tipos de placas para la conformación de cerramientos verticales. Muchas veces son las mismas placas utilizadas para la conformación de cerramientos horizontales, colocadas en posición vertical, otras veces son placas diseñadas específicamente para fachadas o cerramientos verticales en general.

Por lo general se modulan las aberturas, con respecto a las dimensiones de los paneles y se prevén dinteles metálicos de ser necesarios. También pueden practicarse huecos para aberturas durante la fabricación. La colocación de los paneles se realiza sobre vigas de fundación.

#### Placa Lisa alivianada:

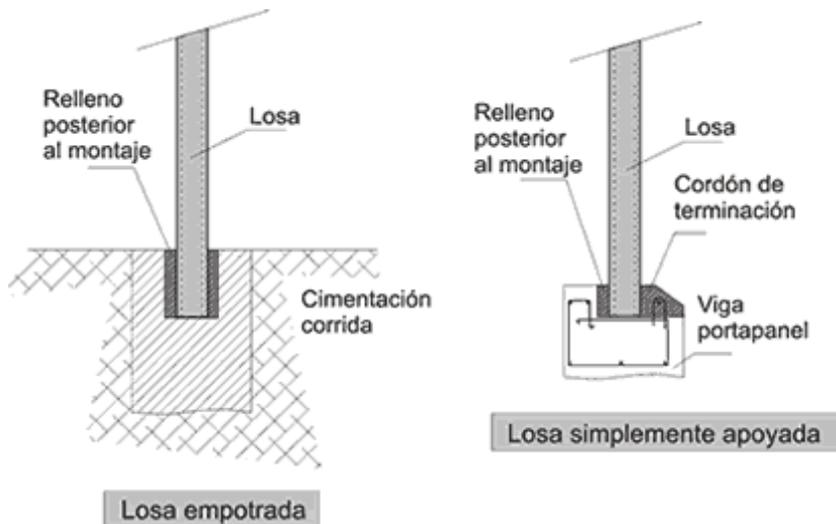
Las placas o losas lisas, alivianadas por huecos en el sentido longitudinal de la placa, permiten conformar superficies de cerramiento vertical exteriores y divisorias interiores.



Son capaces de resistir los esfuerzos de viento o empujes, y ofrecen una superficie segura frente a golpes o colisiones. También es posible, cubrir importantes luces con su utilización, dependiendo del fabricante, sus dimensiones pueden llegar al entorno de los 2,5 por 12 metros. En cuanto a los espesores, también son variables y se ubican en un entorno de 12 a 20 centímetros.

Los cantos se fabrican machihembrados para mejorar el contacto entre losas. Las juntas se sellan exteriormente con productos adecuados, de manera de asegurar la estanqueidad. Eventualmente puede realizarse también el sellado interior. Por lo general, son fabricadas en pistas metálicas, lo que asegura una superficie lisa, que puede ser dejada como hormigón visto, o recibir algún tipo de terminación.

Montadas en posición vertical deben ser apoyadas o empotradas en una cimentación corrida. Si se encuentran simplemente apoyadas resulta imprescindible la fijación superior, a una viga o a la propia cubierta. Cuando las losas se empotran en la fundación puede evitarse la fijación superior en el caso de alturas moderadas.



Placa TT:

Consisten en placas con sección TT, similares a las vistas para cerramientos horizontales. Son adecuadas para la conformación de cerramientos de locales industriales o similares, en los que se requieren cubrir luces importantes; la variación de la altura de los nervios permite alcanzar grandes alturas.

Pueden ser utilizadas como hormigón visto o recibir distintos tipos de pinturas o terminaciones. También se pueden fabricar con la inclusión de aislaciones acústicas o terminas. En el espacio entre nervios se pueden prever huecos para aberturas.

Para el montaje de estos elementos, se dejará previsto, en la parte superior de ambos nervios orificios pasantes, desde donde se colgará la percha de enganche a la grúa.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Las imágenes contenidas en esta sección fueron elaboradas por la empresa argentina TENSAR

## PROCESO DE DISEÑO Y DIMENSIONADO:

El proceso de diseño y dimensionado de estas piezas, implica el estudio de una serie de conceptos fundamentales.

Si bien en primera instancia la forma de la sección es decisiva para el trabajo del elemento se deben también precisar otros aspectos técnicos como por ejemplo la adherencia hormigón acero.

### **La adherencia en las unidades prefabricadas:**

La adherencia hormigón-acero es una propiedad que merece especial atención, ya que determina por un lado las características resistentes de las piezas, y por otro, los tiempos de producción.

Luego del destesado el pretensado es transmitido por adherencia. Por lo cual esta es fundamental para garantizar la adecuada transmisión del esfuerzo de pretensado y el correcto anclaje durante la vida útil de la unidad.

*“En las industrias de elementos prefabricados de hormigón pretensado con armaduras pretensas uno de los momentos cruciales del proceso de fabricación es el del destesado. En ese instante el hormigón debe tener suficiente resistencia para soportar tensiones que pueden ser muy elevadas y además debe ser capaz de aceptar la transferencia de esfuerzos de las armaduras activas, por adherencia.*

*Por esta razón es lógico que se preste especial atención a la capacidad resistente del hormigón en los primeros días, o incluso horas de su vida. Cuanto más pronto se alcance la resistencia necesaria, más pronto se podrá proceder al destesado y con ello se conseguirá un mayor rendimiento de las instalaciones, aumentando la productividad al reducir los plazos de fabricación”*

Fuente: Universidad Politécnica de Valencia\_ P. Miguel, J.R. Martí, P. Serna, M. Á. Fernández.

En el comportamiento adherente se distinguen dos mecanismos: adhesión y fricción. En una primera instancia, se da la adherencia por adhesión, esta se desarrolla por la interconexión entre partículas de cemento y la rugosidad de las varillas de acero. La fricción se manifiesta luego del desplazamiento de las armaduras, este deslizamiento también implica la rotura de la adherencia por adhesión.

A continuación, sigue texto basado en artículo de Universidad Politécnica de Valencia\_ P. Miguel, J.R. Martí, P. Serna, M. Á. Fernández.

*La adherencia por fricción se desarrolla si se generan tensiones de compresión radiales, perpendiculares a la superficie del cordón, las cuales pueden ser originadas por diferentes causas:*

- **Efecto Poisson:** *los cambios en la tensión longitudinal del cordón implican deformaciones transversales. Con el tesado se produce un alargamiento del cordón y una reducción de su sección transversal. Al destesar (tras el hormigonado) se producen pérdidas de tensión en el cordón, lo que motiva un aumento de su sección transversal que, al quedar confinado, origina tensiones radiales sobre el hormigón circundante. A la manifestación del efecto Poisson en las zonas extremas de los elementos pretensados, en los que la tensión en la armadura se anula se le denomina efecto Hoyer.*

- **Efecto de acuñamiento:** se da debido a la variación longitudinal de la forma de la sección no circular, del cordón, ya que el cordón desliza a través de un "canal" en el interior del hormigón cuya sección no es congruente con la del cordón.

- **El trazado helicoidal de los alambres exteriores del cordón** ya que el paso de la hélice varía con los cambios en la tensión longitudinal de los alambres del cordón, contribuyendo a aumentar por contacto las tensiones de compresión.

- La existencia de **pequeñas partículas de cemento que quedan trabadas entre el cordón y el hormigón** tras la rotura de la adhesión por adherencia que se da en una primera instancia.

- **Retracción del hormigón.**

- **Fuerzas de compresión externas.**

Antes del destesado, la armadura está sometida a una tensión  $\sigma_{p0}$ . Luego del destesado, la armadura tiende a recuperar el estado de tensión nula anterior a la operación de tesado, pero esto sólo es posible en parte ya que la armadura está ahora alojada dentro de una masa de hormigón, que impide que retorne a su estado original, por lo cual el hormigón queda comprimido por la armadura, como consecuencia de la fuerza transmitida por adherencia. Entonces, la armadura queda con una tensión  $\sigma_{pi}$  tras el destesado, inferior a  $\sigma_{p0}$  debido a las pérdidas por acortamiento instantáneo del hormigón.

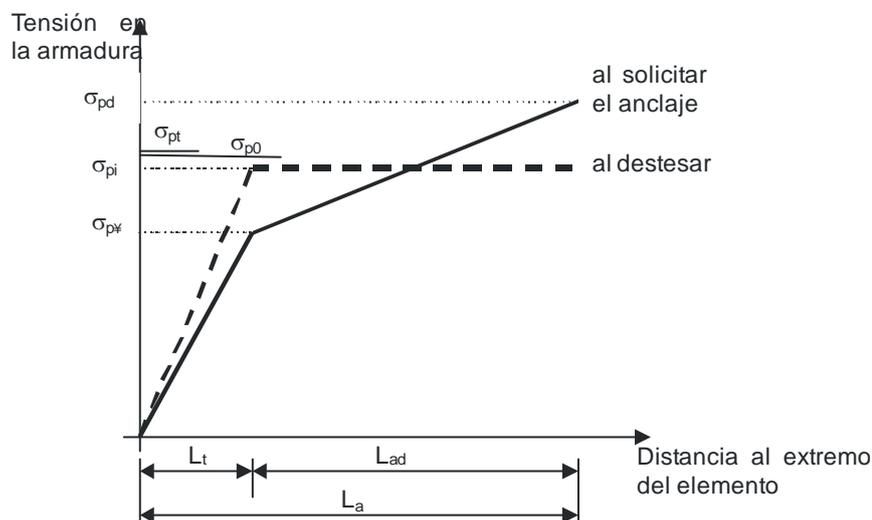
En los extremos del elemento pretensado, la tensión de la armadura llega a ser nula. La transmisión del pretensado por adherencia tiene como consecuencia una variación de la tensión de la armadura. Por lo cual, estamos ante una variación de la tensión desde un valor nulo en los extremos del elemento, hasta un valor  $\sigma_{pi}$  a partir de determinada distancia del extremo.

La pérdida de tensión ocurrida luego del destesado de la armadura, produce el acortamiento de la misma, el cual se acusa más en los extremos de la pieza ya que allí la tensión es nula. Entonces, se producen desplazamientos entre la armadura y el hormigón.

Por otro lado, la tensión de destesado de la armadura  $\sigma_{p0}$  se encuentra en torno al 75% de su capacidad resistente, luego del destesado se llega a una tensión  $\sigma_{pi}$  menor a la tensión de destesado, que continua disminuyendo hasta alcanzar un valor de tensión infinito  $\sigma_{p\infty}$ . Esto nos habla de que contamos con una capacidad de resistencia a la tracción que se encuentra como reserva y puede ser utilizada al aumentar la exigencia de la pieza, mediante la aplicación de acciones externas.

Pero, esta reserva de tracción sólo se puede desarrollar por adherencia, lo que hace necesario definir una serie de longitudes que se derivan del comportamiento adherente.

Se ilustra a continuación el modelo que se toma como base para entender la distribución de tensiones en la armadura.



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia\_ P. Miguel, J.R. Martí, P. Serna, M. Á. Fernández. Basada en Abrishami.

A continuación, veremos cuáles son las longitudes que aparecen en el gráfico anterior, y nos permiten entender el comportamiento adherente:

- **Longitud de transmisión:** Longitud necesaria para que la fuerza de pretensado introducida en una armadura pretesa se transfiera por adherencia al hormigón. Esta longitud abarca la distancia existente entre el extremo libre de un elemento pretensado y la sección a partir de la cual la tensión en la armadura es constante, de modo que más allá de dicha sección la fuerza de pretensado es, para cada tiempo  $j$ , constante.
- **Longitud adicional de anclaje:** Longitud necesaria para anclar, por adherencia, la reserva de tracción de la armadura solicitada por las acciones exterior, a partir de la tensión de la armadura correspondiente al estado de deformación en el instante  $j$  considerado. La máxima reserva de tracción que puede ser solicitada, corresponde al caso en el que la tensión a anclar sea la de rotura por tracción de la armadura, partiendo del estado en el que se han producido todas las pérdidas de pretensado (tiempo infinito).
- **Longitud de anclaje:** Longitud necesaria para anclar, por adherencia, una tensión de tracción superior a la tensión de la armadura en un instante  $j$ . Esta longitud se obtiene como suma de las dos anteriores. La longitud de anclaje máxima corresponde al caso en el que la tensión a anclar sea la de rotura por tracción de la armadura.

La longitud de anclaje es la suma de la longitud de transmisión y de la tensión adicional de anclaje necesaria debido a las acciones exteriores.

$$L_a = L_t + L_{ad}$$

- **Longitud de desarrollo:** Longitud necesaria para que la distribución de tensiones longitudinales en el hormigón pueda considerarse lineal. Esta longitud es ligeramente superior a la longitud de transmisión.
- **Longitud crítica:** Distancia desde el extremo del elemento pretensado (tipo viga) a la sección en la que aplicando una carga puntual se produzca simultáneamente el fallo por adherencia y el agotamiento por flexión.

Fuente: Basado en artículo de la Universidad Politécnica de Valencia\_ P. Miguel, J.R. Martí, P. Serna, M. Á. Fernández.

### Parámetros que afectan a la adherencia

A continuación, se enuncian algunos de los parámetros que afectan a la adherencia.

Aspectos generales:

- Tipo de pretensado (centrado / excéntrico).
- Nivel de tesado.
- Procedimiento de destesado (gradual o brusco).
- Tiempo transcurrido desde el destesado.
- Tipo de cargas aplicadas (estáticas, cíclicas, impactos, etc.).
- Cercanía del elemento de hormigón a la zona desde la que se procede al destesado.
- Longitud libre de armadura entre elementos de hormigón.
- Efectos de confinamiento.

Aspectos referentes a las armaduras:

- Características superficiales de las armaduras (lisas, indentadas, oxidadas, etc.).
- Tipo (alambre, cordón) y diámetro de la armadura.
- Tipo de lubricante empleado durante el proceso de trefilado.
- Aplicación de recubrimiento epoxi a la armadura.
- Distancia entre armaduras.

- Posición de las armaduras en la sección.
- Orden de destesado de las armaduras de una sección.
- Enfundado de la armadura.

Aspectos referentes al hormigón:

- Relación agua/cemento.
- Resistencia del hormigón en el momento de la transmisión.
- Retracción y fluencia del hormigón.
- Grado de compactación del hormigón.
- Recubrimiento de hormigón.
- Tipo de curado del hormigón.
- Tipo de hormigón: tipo de árido y tipo y cantidad de los componentes.
- Consistencia del hormigón.
- Rigidez del hormigón.
- A efectos de anclaje: resistencia del hormigón a la edad de carga, pérdidas de pretensado y tensión del pretensado en rotura.

### **Cálculo de las longitudes de transmisión y anclaje:**

Podemos enunciar una expresión general, que resume aspectos considerados por diferentes códigos y autores:

$$L_t = A \times B \times C \times \phi$$

Donde:

A: los parámetros valorados por este factor dependen de distintas normas o autores.

B: considera la resistencia del hormigón empleado.

C: magnitud de la tensión transmitida por la armadura activa.

$\phi$ : sección de la armadura.

La longitud adicional de anclaje es:

$$L_{ad} = A \times B \times (\sigma_{pd} - \sigma_{pi}) \times \phi$$

Donde:

$\sigma_{pd}$ : Tensión a anclar de la armadura.

$\sigma_{pi}$ : Tensión en la armadura tras el destesado.

Y la longitud de anclaje es:

$$L_a = L_t + L_{ad}$$

## CAPITULO 3: PRODUCCIÓN Y PUESTA EN OBRA

Este capítulo se divide en dos temáticas de análisis que se consideran de carácter complementario; por un lado estudiaremos los procesos de producción de las unidades prefabricadas de hormigón pretensado y por otro su puesta en obra. Ambos aspectos presentan un rigor conceptual menos profundo al analizado anteriormente, pero son de gran importancia al momento de entender prácticas industriales y constructivas concretas, que nos permitan tener una idea más cabal sobre estas unidades estructurales.

### PRODUCCION



En una primera instancia estudiaremos cómo se organiza la planta de producción y los procesos de producción propiamente dichos.

#### **Planta de producción:**

En la estructura de la planta pueden diferenciarse tres partes:

#### Área para almacenamiento de materias primas y confección del hormigón:

Los árido y el cemento se almacenan cerca de la hormigonera y se utiliza un puente grúa para transportar el hormigón, ambas cosas con el objetivo de abaratar la mano de obra.

#### Instalaciones de tensado y banco de moldeo:

Se ubican en la parte central de la nave de producción. Allí se efectúa el anclaje y tensado de las armaduras y el moldeo de las piezas que se realiza sobre los bancos de moldeo. Los cabezales de centrado y anclaje se ubican en los extremos de los bancos.

*“El anclaje de los alambres en los cabezales puede llevarse a cabo de varias maneras, siendo las más corrientes la fijación con cuñas o con tuerca. En el primer caso el alambre queda anclado al introducir unas cuñas de acero llamadas de anclaje o clavijeros. La cuña del cabezal de tensado se introduce en el momento en que el alambre ha alcanzado la tensión debida. Seguidamente puede retirarse el aparato de tracción.*

*El segundo caso se emplea cuando interesa estirar varios alambres simultáneamente. Estos se fijan en el extremo de una barra roscada mediante un dispositivo especial, anclándose la barra en el clavijero con una tuerca. Posteriormente se hará un estudio detallado referente a ambos casos.”*

Hormigón Pretensado – Miguel Payá – Monografías CEAC sobre Construcción

Se construyen macizos de hormigón ciclópeo en ambos cabezales, donde se empotran elementos metálicos que resisten la tracción.

*“Los bancos de moldeo son soleras, encima de las cuales tiene lugar el moldeo de las piezas. Suelen construirse de hormigón, de cerámica, o con planchas metálicas.”*

Hormigón Pretensado – Miguel Payá – Monografías CEAC sobre Construcción

Luego de anclados los hierros, se vierte el hormigón, para ello se utiliza una carretilla, tolva o carro moldeador que se desplaza sobre rieles colocados en la parte superior.

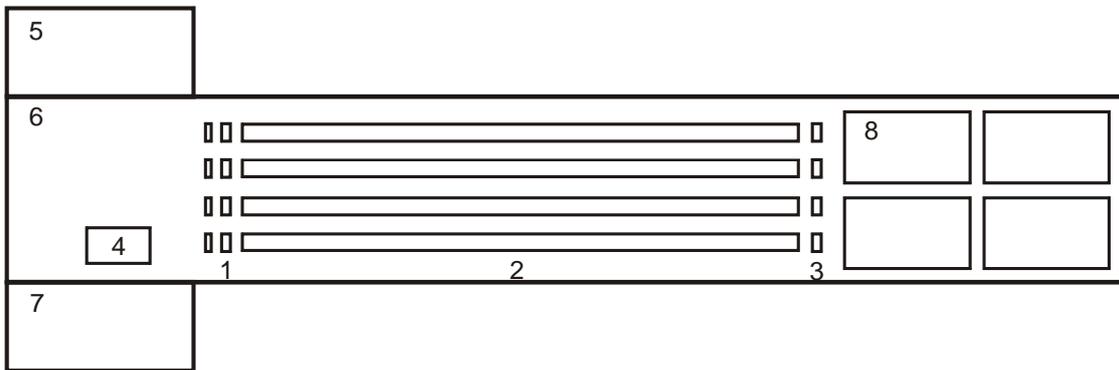
Para el asentamiento se utilizan vibradores. Luego que el hormigón ha alcanzado la resistencia adecuada, se efectúa el destesado de las armaduras. El tiempo que las vigas permanecen en el banco de moldeo depende del cemento utilizado y de las condiciones de secado. Para acelerar este último se utilizan distintas formas de calefacción.

Instalaciones para el curado de las piezas fabricadas:

Para el curado, se construyen grandes balsas o cámaras de vapor herméticas. El segundo método es mucho más costoso. Luego son curados al aire libre, en lo que se denomina parque de curado.

Las plantas de producción tienen además, una zona que les permita efectuar las operaciones de doblado, cortado, confección de estribos y otras operaciones sobre el hierro.

Esquema de la planta de producción:



1- Cabezal de tensado. 2- Banco de moldeo. 3- Cabezal de anclaje. 4- Hormigonera. 5- Almacén de hierro. 6- Áridos. 7- Almacén de cemento. 8- Bolsas para curado.

**Proceso de producción:**

El proceso de fabricación industrial propiamente dicho consiste en estirar el acero y anclarlo en sus extremos. Las armaduras son tendidas sobre uno a varios moldes. Luego de eso se vierte el hormigón en los moldes, directamente en contacto con el acero. Cuando el hormigón ha endurecido se suprimen los anclajes extremos y se cortan las armaduras entre pieza y pieza.



“La puesta en tensión se efectúa independiente para cada alambre por medio de un gato portátil, que en una sola operación se ajusta al alambre por medio de una tenaza dentada, traccionándolo hasta alcanzar la fuerza deseada, apoyándose en el taco de anclaje, después se empujan y aprietan las cuñas por medio de un gato auxiliar.

En ciertas instalaciones, la puesta en tensión se efectúa simultáneamente para varios alambres por medio de un gato único.

Del mismo modo, la mayor parte de los bancos poseen un gato que permite aflojar el conjunto de armaduras de pretensado por desplazamiento de la pieza de apoyo. Este dispositivo es conveniente, pues no obliga a cortar los cables o alambres hasta después de haberlos aflojado: la rotura brusca de una armadura estirada provoca sobre si misma una onda de choque que trata de disminuir la adherencia entre el acero y el hormigón en la zona extrema en el momento en que el hormigón, aun tierno, no ha alcanzado todavía su resistencia definitiva.

Cuando este dispositivo de afloje no existe es necesario prever un zunchado complementario en el comienzo de la pieza.

Hay que destacar que la mayoría de los bancos de pretensión, están equipados de una instalación de calefacción para acelerar el endurecimiento del hormigón: el ciclo de fabricación mas frecuente es de 24 horas, las armaduras se estiran por la tarde y se termina la operación por la mañana; la calefacción puede ser eléctrica, siendo más frecuente de vapor, mantenido alrededor de la pieza por medio de lonas tendidas sobre soportes perimetrales móviles.”

Hormigón Pretensado: concepción, cálculo, ejecución – R. Lacroix, A. Fuentes



### Ensayo a la flexión de unidades pretensadas:

El ensayo a la flexión se realiza de modo que la pieza quede simplemente apoyada en sus extremos y cargándola en el centro.

Se aplica la carga en forma continua hasta llegar a la rotura del elemento. Se toma el dato correspondiente a la fuerza máxima aplicada.

Tanto el ensayo de viguetas pretensadas como el banco de pruebas a flexión para el ensayo de placas siguen el procedimiento antes descrito. Las placas alveolares se ensayan a l/3 en un banco de prueba diseñado para realizar estos ensayos.



## PUESTA EN OBRA



En este capítulo estudiaremos como se lleva a cabo la construcción utilizando estas piezas prefabricadas.

### **Características de las construcciones con prefabricados de hormigón:**

En primera instancia, vamos algunas de las razones, por las que el proyectista puede optar por la utilización de unidades estructurales prefabricadas.

Calidad en el proceso de elaboración de las piezas: Se trata de un producto totalmente industrializado que se fabrica en procesos de producción controlados y estandarizados. Los mismos fabricantes o empresas constructoras presentes en plaza, se especializan en la instalación de estos productos. Además, los fabricantes invierten en proyectos de investigación para mejorar sus productos y la tecnología de éstos y de las plantas de producción, para que se aprovechen al máximo las características de este material. También investigan constantemente la forma de mejorar su desempeño buscando incrementar su resistencia ante el fuego, los istmos, impactos, ataques químicos y biológicos, vibraciones y oxidación.

Rapidez en la construcción: El montaje en obra es rápido ya que los materiales llegan preparados de fábrica para su colocación. Esto hace que el plazo de las obras se reduzca notablemente. Además, el hecho que el proceso sea industrializado hace que ante posibles inclemencias del tiempo no sea necesario parar la producción.

## Procedimientos de puesta en obra:

Se trata de elementos que llegan prontos a la obra, por lo que la puesta en obra es sumamente importante, a los efectos de que la estructura trabaje correctamente.

Algunos aspectos de la puesta en obra se contemplaron al estudiar las características de las unidades prefabricadas, pero ahora profundizaremos en ese tema. Para ello, estudiaremos aquellos casos que presentan aspectos de interés.

Veamos algunos aspectos generales a tener en cuenta:

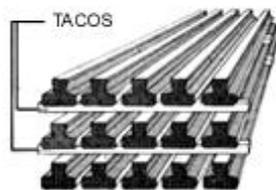
- 1) Correcta posición de las unidades estructurales, la posición de acopio debe ser la misma en la que trabaja el elemento. Las viguetas se deben manipular y acopiar en posición de "T" invertida. Para losas huecas, se debe reconocer el talón inferior que sobresale del cuerpo de la losa, y posicionarlo hacia abajo:



- 2) Además deberá prepararse la zona de acopio, el mismo se realizará en un lugar con suelo firme y nivelado.
- 3) Las losas se ubicarán sobre elementos rígidos como tirantes de madera dura en el sentido transversal de las losas. Sobre los mismos se colocan listones de madera blanda, los cuales van además entre losa y losa. Se colocan en coincidencia vertical, como se indica en el siguiente esquema:



Para las viguetas se colocan elementos separadores cerca de los extremos e intermedios que no disten más de una dos metros aproximadamente entre sí. Los tacos también deben colocarse en coincidencia vertical.



- 4) Deben considerarse además las cantidades máximas a apilar. En el caso de losas, deberá considerarse que la cantidad máxima a apilar es de entre 8 y 12, aunque esto depende del espesor de la losa y de las especificaciones del fabricante.

### Losas con capa de compresión superior:

Describiremos un proceso general, para todo tipo de losas, haciendo las especificaciones del caso cuando sea necesario.

#### Capa de compresión superior:

Como se analizó anteriormente, la puesta en obra de las unidades que cumplen la función de cerramiento superior o entrepisos, requiere una capa de compresión superior de hormigón armado. Esto ocurre en el caso de los sistemas de viguetas y losetas cerámicas y en todos los casos de losas prefabricadas sea cual sea su sección.

El hormigón será trabajable sin exceso de agua. No se debe hormigonar con temperaturas inferiores a 5 °C y se debe efectuar el curado durante 7 días.

El diámetro de la malla y el espesor de la capa de hormigón pueden ser variables, de acuerdo a las características del elemento, las especificaciones del fabricante y las exigencias de luces y cargas.



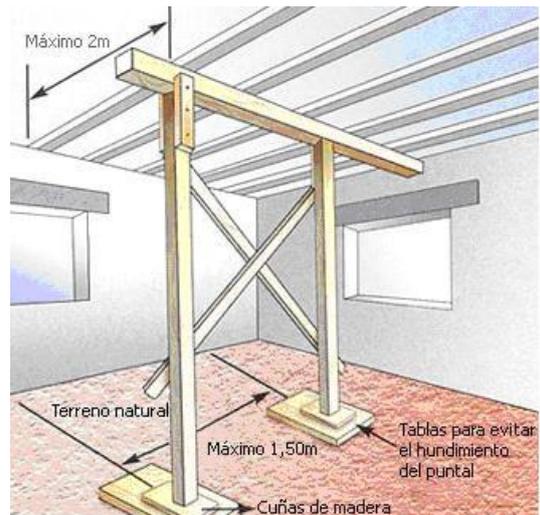
### Losas de viguetas pretensadas y losetas cerámicas:

Para evitar deformaciones y riesgos de rotura, debe colocarse un apuntalamiento perpendicular a las viguetas sostenido por puntales. Los puntales pueden ser metálicos o de madera, en estos últimos la sección de los tirantes y puntales será aprox. de 10 cm. x 10 cm. y mediante cuñas se dará a las viguetas una contraflecha de 1 a 2 mm por metro de luz.

Las viguetas se reparten usando bovedillas como patrón para determinar la separación. No es necesario colocar vigueta al inicio de la modulación, debe comenzarse con bovedilla. Las viguetas se apoyarán un mínimo de 8 cm. sobre muro de mampostería y alisado de hormigón. Cuando apoyen sobre encofrados para incorporar los extremos en vigas a hormigonar posteriormente, penetrarán en la pieza un mínimo de 5 cm. La separación entre viguetas es determinada por el ancho de los bloques.

Luego de colocadas las bovedillas, deben eliminarse los restos mediante barridos, y mojar abundantemente los bloques y viguetas para obtener una buena adherencia del hormigón. Se mantendrán los elementos húmedos hasta el momento de verter el hormigón sobre ellos.

El des-apuntalamiento se efectuará solamente cuando se verifique que el hormigón ha alcanzado una resistencia suficiente. El tiempo transcurrido puede variar considerablemente en función del cemento utilizado y de las condiciones climáticas.



## Instalaciones:

**Instalación Eléctrica:** En los Sistemas con bovedilla cerámicas o de hormigón y de losetas huecas, la caja octogonal se puede fijar en estas y los ductos colocarlos en los huecos de las mismas, para evitar que éste se doble o se quiebre.

**Instalaciones sanitarias de abastecimiento y desagüe:** Cuando se requiere pasar a través de la losa tuberías de agua potable y/o desagües, se puede dejar un pasa tubo de mayor diámetro a través de los huecos de la loseta o bovedilla, para posteriormente colocar la tubería definitiva.

Cuando las canalizaciones no se pueden efectuar a través de los huecos del elemento estructural, por ser necesarios tendidos transversales a ellos, las dos opciones más claras son: instalaciones vistas u ocultas debajo de un falso cielorraso. En el caso de las instalaciones sanitarias en baños, estas se pueden resolver generando un contrapiso superior de espesor importante, que aloje todas las instalaciones.

**Cielorraso:** Cuando se requiera dejar cielorraso, se pueden dejar mechas de alambre galvanizado amarradas a las losetas o viguetas para colgar el sistema de cielorraso utilizado.





Este estudio no estaría completo, si no se consideraran las posibilidades de proyecto que nos brinda la prefabricación total o parcial de una obra de arquitectura. Las dos premisas fundamentales a tener en cuenta son; por un lado la indivisibilidad entre la técnica y el diseño, es decir, proyectar considerando la solución material y por otro, la incidencia en el aceleramiento y racionalización de una obra que la prefabricación implica.

Estos elementos constructivos, están ampliamente asociados a programas industriales, para los cuales efectivamente resultan adecuados. Pero eso no quiere decir, que no sean eficientes para la solución de otros programas, en los cuales, puede incidir favorablemente en los tiempos de obra, e incluso en el diseño arquitectónico.

La utilización de unidades pretensadas, entre otras cosas, permite acortar los tiempos de construcción y puesta en servicio de un cerramiento intermedio o superior, también puede permitir obtener superficies de hormigón visto sin imperfecciones.

Además, puede ser una solución adecuada para intervención en estructuras existentes, como por ejemplo, el agregado de entresijos en reciclajes. En particular, el sistema de viguetas pretensadas y bovedillas cerámicas, tiene una forma de trabajo similar al sistema de bovedillas con el que fueron construidos gran parte de los edificios anteriores a la generalización del uso del hormigón armado. Esto último reafirma la idea y nos sugiere además otros posibles usos, como por ejemplo, la sustitución de sistemas de bovedillas (cuando su reparación es casi inviable), sin perturbar la forma de trabajo del edificio como conjunto. Para que esto no ocurra, es importante aclarar que las viguetas trabajan con apoyo puntual, se perfora el muro solamente en el punto de apoyo de la vigueta sin generar cortes longitudinales que interrumpen la continuidad del muro portante.

Estas unidades pueden permitir además, el desarrollo de sistemas prefabricados integrales, estos sistemas se han extendido aplicados a la construcción de viviendas.

Algunos aspectos a tener en cuenta en el diseño:

Al proyectista le compete elegir la solución que resulte más conveniente al proyecto, evaluándolo no solo desde el punto de vista estructural, sino también considerando las alturas (en el caso de cerramientos horizontales), la interacción con las instalaciones, las terminaciones y todas las componentes del proyecto arquitectónico.

Es importante considerar, que se pueden diseñar elementos que se adapten a un proyecto en particular. En el proceso de fabricación se pueden cortar a medida, darle un color o una textura determinados, etc.

Se plantea estudiar ejemplos en los que la utilización de estos elementos adquiere un papel importante en el proyecto arquitectónico.



Estudiaremos la ampliación del local del liceo 54 en la ciudad de Montevideo, allí se requería una respuesta que en poco tiempo permitiera la construcción de un aulario de dos plantas, con un total de ocho aulas.

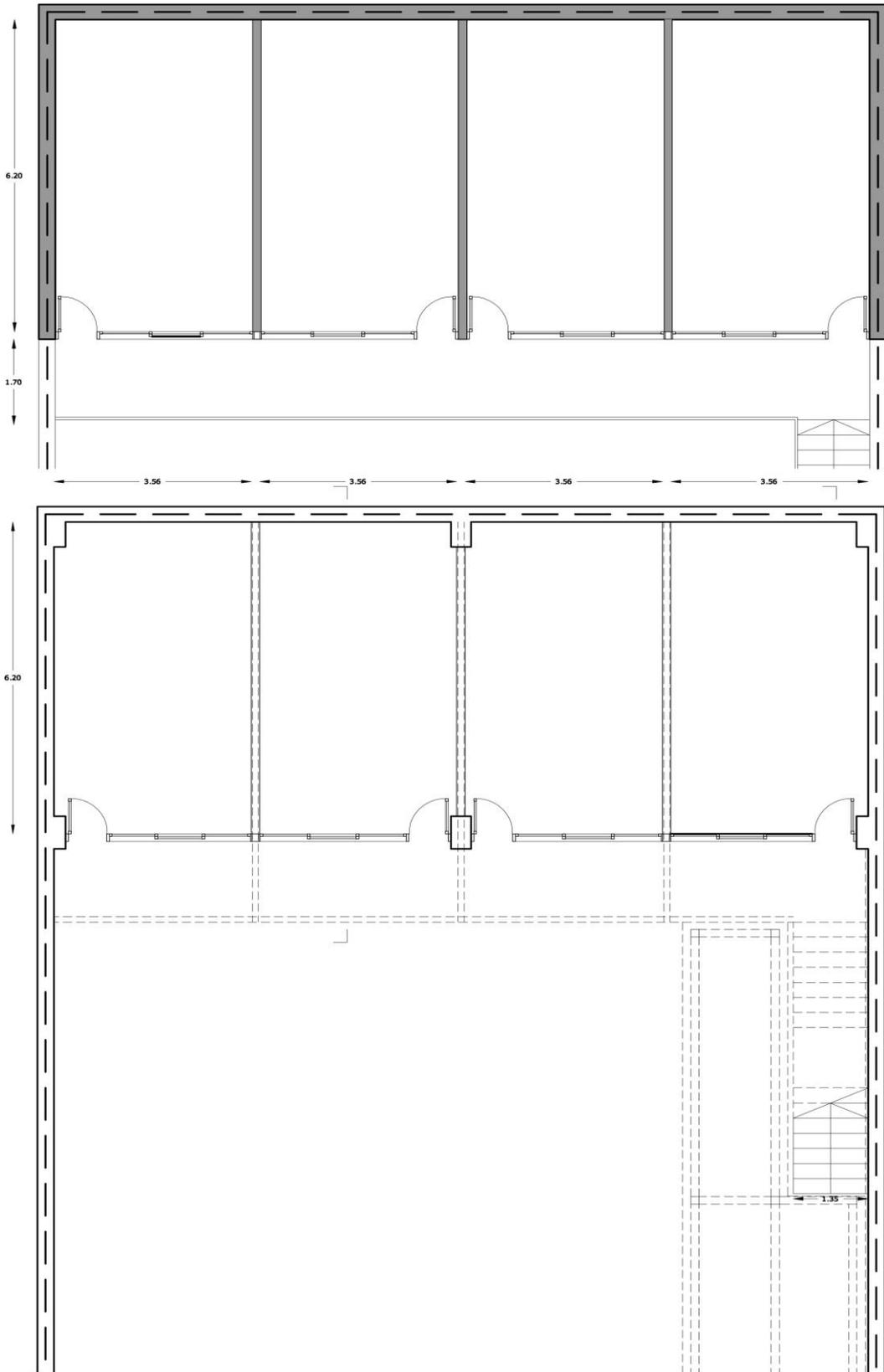
El tiempo previsto para las obras era de aproximadamente dos meses. La combinación de elementos de hormigón pretensado como solución del cerramiento intermedio y de otras tecnologías de prefabricación, permitió la rápida concreción de las obras.

En planta baja, se adapta una estructura existente, por ese motivo, la solución en ese sector es de aulas divididas por tabiques de bloque vibrado y se conservan los pilares de hormigón armado existentes. La estructura portante sobre planta baja, se resuelve utilizando perfiles PNC fundados en dados de hormigón ciclópeo.

En planta alta, tanto cerramientos verticales como superior se resuelven utilizando isopaneles.

Se puede observar que la solución de la planta baja utiliza un sistema constructivo más tradicional que el utilizado en la planta alta. El tratamiento diferencial de ambas plantas, se debe a la adaptación de las construcciones preexistentes que requirió la planta baja.





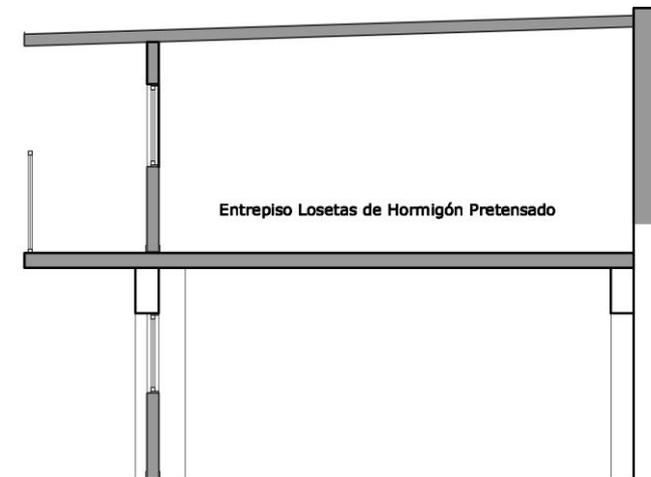
Plantas



Fachada

Corte transversal

Los elementos prefabricados de hormigón pretensado, tienen una incidencia importante en esta obra ya que contribuyen, en conjunto con otros métodos de prefabricación a acelerar los tiempos de obra. Las losas fueron encargadas a medida y su colocación en obra demandó un día, al cual debe sumarse un día más para la construcción de la capa superior de compresión de hormigón armado. El pretensado permite además, obtener la mayor capacidad de carga, que demanda el programa educativo.



Pero la colaboración de las losetas en el aceleramiento de la obra, va de la mano con la solución de la estructura portante en acero, y con la utilización de elementos prefabricados como son los isopaneles, para la solución de los demás cerramientos. Se puede ver en este caso, como los sistemas en los que intervienen distintos tipos de prefabricación, pueden incidir favorablemente para acortar tiempos de obra.

### Procedimiento de obra:



En la primera etapa se realizan las fundaciones y la estructura metálica que sostiene la cubierta sobre planta baja. En simultáneo se adapta la estructura existente.

Posteriormente se ejecuta la losa sobre planta baja. La colocación de las losetas prefabricadas demanda un día, y la ejecución de la capa de compresión superior otro más.

Luego se construyen los cerramientos verticales. Los tabiques divisorios en planta baja se resuelven con bloques de hormigón vibrados. Finalmente se ejecutan el resto de los cerramientos verticales y el cerramiento horizontal superior, los cuales se resuelven en isopanel.

### Valoración de aspectos temporales y económicos:

El procedimiento de obra es muy rápido, la obra llevo dos meses conforme a la previsión inicial. La solución del cerramiento intermedio colabora en forma importante en el logro de este objetivo porque no se requiere disponer de los tiempos previos que implican el encofrado y colocación de armaduras de una losa de hormigón armado convencional, ni de los tiempos posteriores que requiere para su fraguado.

Los costos de obra también se ubican dentro de márgenes muy convenientes. En comparación con obras de escala similar impulsadas desde la misma oficina que realizó esta obra, se asegura que los costos fueron inferiores.

## LICEO 1 (LA PAZ – CANELONES): Año 2009



El proyecto implica la remodelación de los edificios en que funciona el Liceo actualmente y la construcción de un nuevo edificio.

El nuevo edificio se proyecta con una estructura metálica modulada en base a las dimensiones de losas prefabricadas huecas de hormigón pretensado que resuelven el cerramiento intermedio y superior. A su vez, algunos espacios interiores presentan divisiones

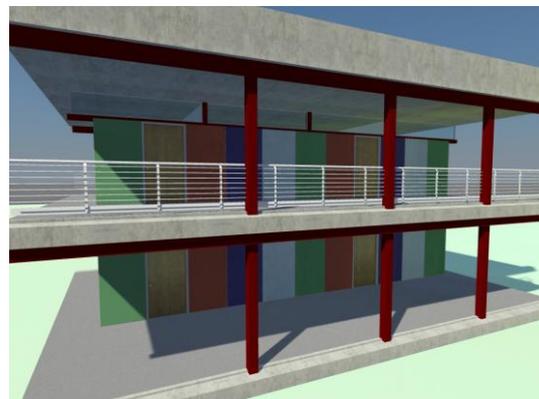
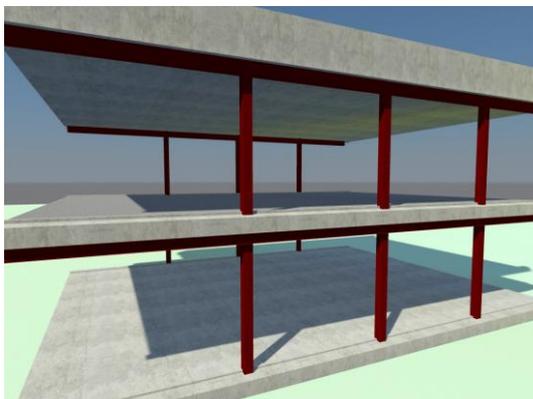
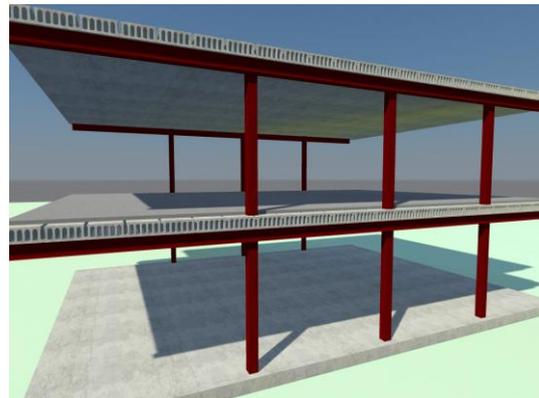
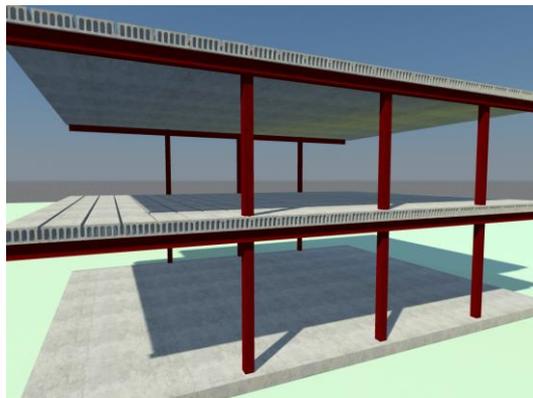
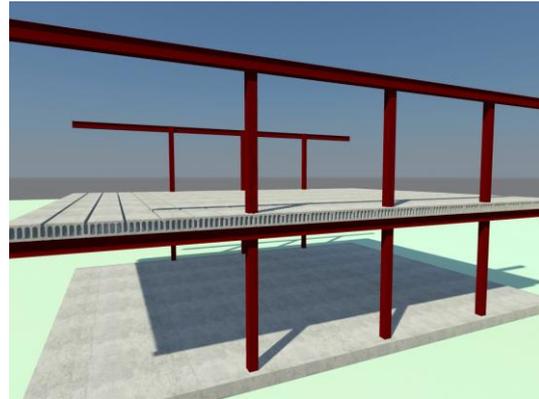
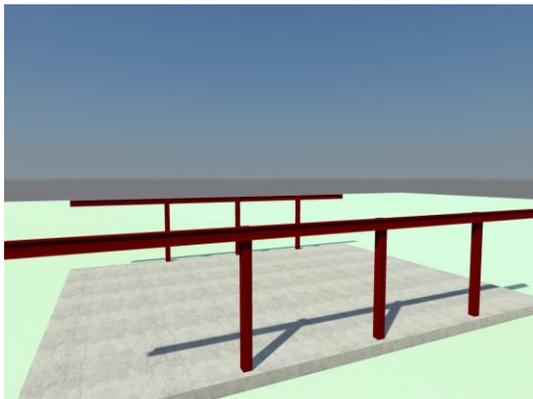
móviles que permiten que las aulas puedan unirse entre sí. Otras divisiones se resuelven con paneles de yeso, lo que permite ejecutarlas de forma más rápida.

Queda claro, un pensamiento integral del proyecto, en el que la modulación permite resolver al mismo tiempo aspectos del programa y de la solución estructural y constructiva.

El sistema constructivo en su conjunto tiene como objetivo acortar los tiempos de obra.



### Secuencia de montaje proyectada:

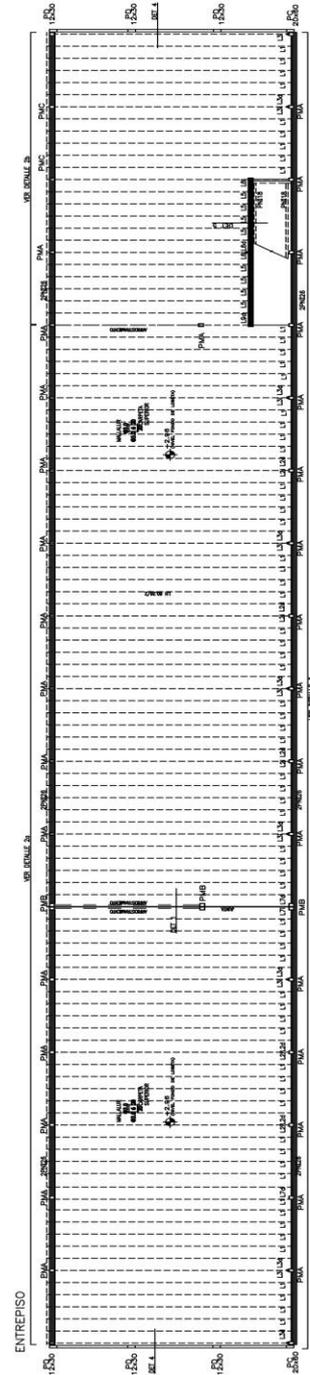
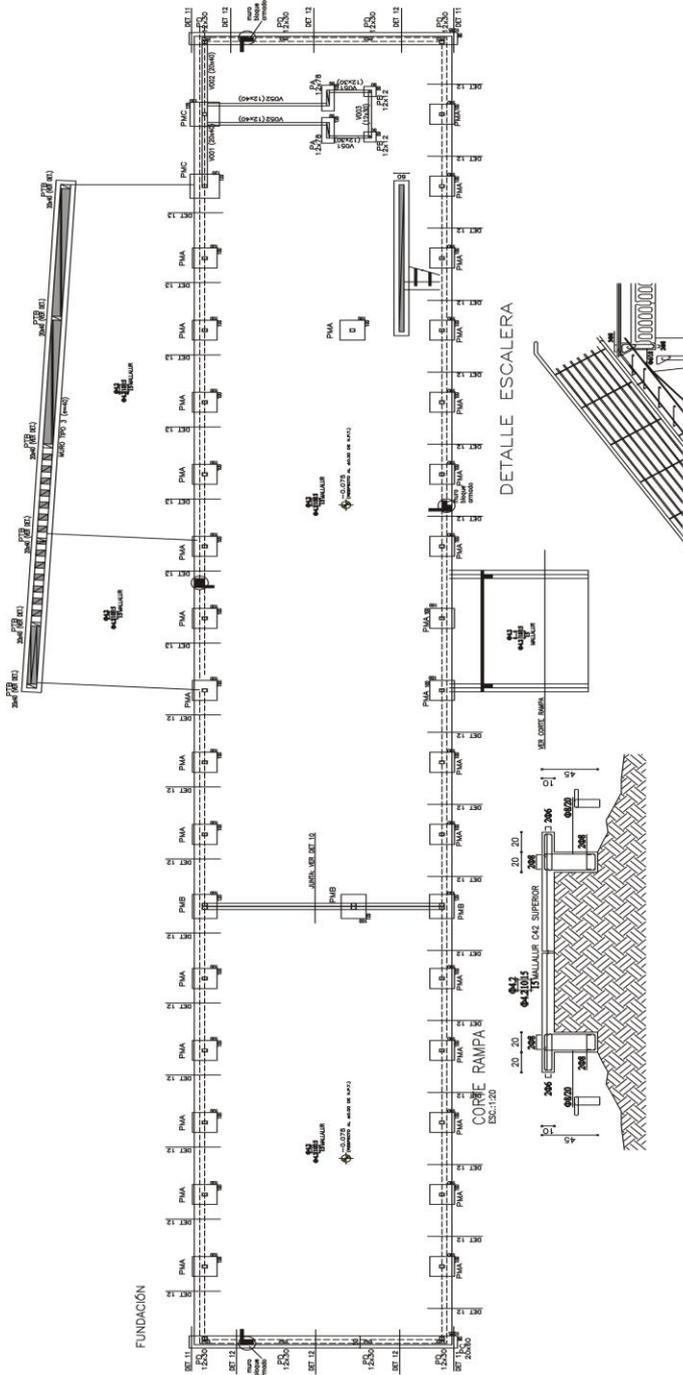


En primera instancia se ejecutan las fundaciones y la estructura metálica de vigas y pilares.

Esto permite la colocación de las losetas que resuelven los cerramientos intermedio y superior.

Posterior a la ejecución de cada losa, se ejecuta la capa superior de compresión y las vigas perimetrales.

Finalmente, se ejecutan los cerramientos verticales, los cuales son tabiques livianos en su mayoría de yeso o cerramientos móviles.





El anteproyecto y el proyecto ejecutivo, se realizan en base a la solución expuesta. Pero luego de comenzadas las obras surge un inconveniente importante, el fabricante de las losas que se pensaba utilizar, ya no está en el mercado. Esto obliga a investigar otra solución, que manteniendo las premisas de rápida ejecución, modulación y los mismos costos, brinde la solución de los cerramientos intermedio y superior.

Luego de analizadas las posibles soluciones, se opta por un sistema de viguetas de hormigón pretensado y bovedillas de poliestireno expandido.

El sistema utilizado presenta algunas desventajas respecto al previsto originalmente. Por un lado, las viguetas requieren apuntalamiento durante 21 días y las losetas no lo requerían. Por otro, las losetas permitían una terminación de hormigón visto y este sistema requiere pensar otro tipo de terminación, lo cual implica también mayores costos.

El cambio de solución, implicó un inconveniente al respecto de los tiempos de obra, por la doble razón de realizarse durante la marcha de los trabajos y de requerir apuntalamiento y terminación. No obstante, el curso de las obras permite creer que se lograra culminarlas en un plazo muy similar al previsto.

#### **Procedimiento de obra:**

El procedimiento de obra sigue la secuencia de montaje proyectada, con la diferencia que se presenta en la solución de los cerramientos intermedio y superior, conforme se explico anteriormente.



### Valoración de aspectos temporales y económicos:

Un aspecto a tener en cuenta es el tiempo de obra. El sistema original se plantea con el objetivo de posibilitar una rápida ejecución. En este caso, se plantea ejecutar la obra en seis meses. Como se explico anteriormente, el cambio de la solución de los cerramientos intermedio y superior, implico un inconveniente al respecto. Pero también se dijo que el curso de las obras permite creer que el tiempo requerido no será mucho mayor al previsto. Por lo tanto, se puede decir que la solución de las losas, de todos modos, tuvo una incidencia favorable en el aceleramiento de la obra. La solución de la estructura portante y de los tabiques interiores, adquieren una gran importancia en pos de este objetivo.

En cuanto al costo, cabe señalar que en principio se ubica en el orden del 25% por encima del que tendría la solución de losa maciza. Pero esta diferencia de costo es válida si se consideran los otros aspectos que permitieron la adopción el sistema, que sintéticamente fueron indicados; por un lado, las luces libres en este caso, de 10m y por otro el ahorro de plazos, el cual en este caso, es de aproximadamente cuatro meses de obra. La solución de viguetas y bovedillas que finalmente se adoptó, no implica diferencias sustanciales respecto al planteo inicial en cuanto a costos.

## VIVIENDAS COVICIVI 1 (MONTEVIDEO): Año 1994



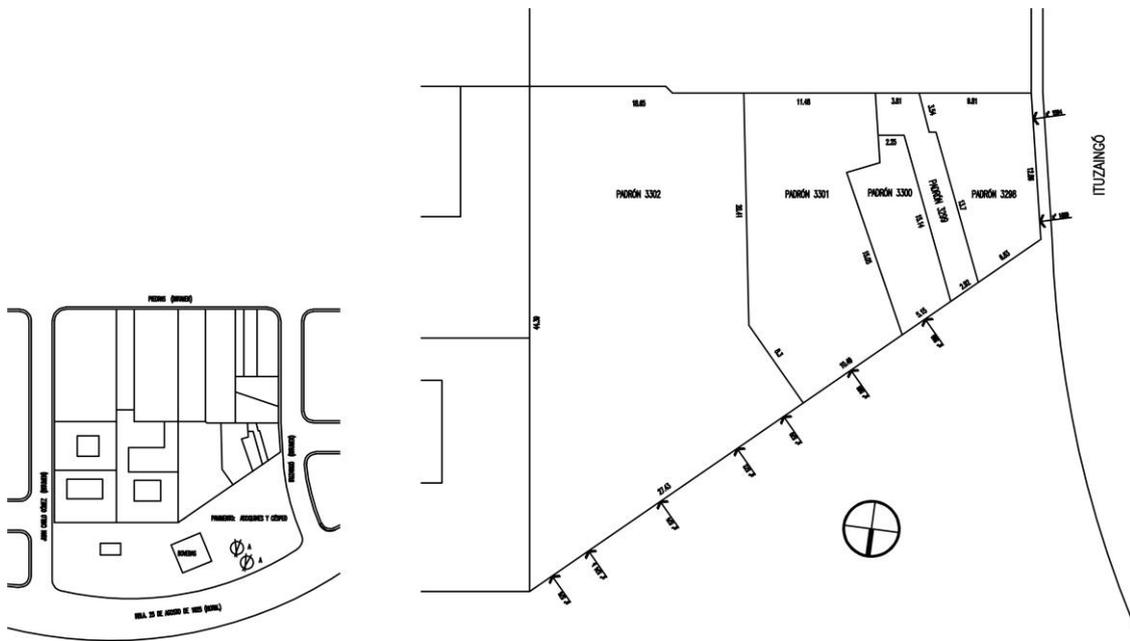
La Ciudad Vieja ha intentado revitalizarse a través de diversos programas que fomentan que los montevideanos vuelvan a vivir allí. Desde la década de los 90 comenzó la construcción de algunas cooperativas de viviendas, como Covicivi 1, donde se instalaron 34 familias.

Los planes piloto de rehabilitación de viviendas por ayuda mutua fueron impulsados por la Intendencia de Montevideo (IMM), con la colaboración técnica de Organizaciones No Gubernamentales. Entre otras cosas, se tomó en cuenta la recuperación de edificios con valor patrimonial pero sumamente deteriorados.

En este contexto surge este proyecto, en el que se interviene en un conjunto de edificios existentes y también se genera un importante sector de obra nueva.



Planta de ubicación



FACHADA RELEVAMIENTO



FACHADA PROPUESTA



Planta Baja

### El proyecto y la estructura:

Para la solución de los entrepisos, se opta por un sistema de losetas prefabricadas en el sector de obra nueva y de viguetas y bovedillas cerámicas en los sectores que se reciclan.

El sector de obra nueva está formado por dos alas de 4 plantas, donde se ubican dos niveles de unidades dúplex. A los dúplex de los pisos inferiores se accede por el patio de planta baja y al nivel superior, desde una pasarela ubicada en el cuarto piso, es decir, desde la planta alta de las unidades. Los entrepisos se resuelven utilizando losas prefabricadas pretensadas. Esas losas se ubican en el sentido transversal de las unidades y descargan sobre muros portantes.

En los sectores de reciclaje, se eliminan algunos entrepisos ya que la altura libre entre ellos no permitía generar dos niveles. Los nuevos entrepisos, se resuelven utilizando viguetas prefabricadas pretensadas y bovedillas cerámicas del tipo porteña.

### **Procedimiento de obra:**

Se abordará el aspecto de la obra que resulta más relevante para este trabajo, es decir, la ejecución de las losas, con las diferencias que se dan en los sectores de análisis.

La ejecución de las losas del sector de obra nueva, se realiza de acuerdo al procedimiento de obra convencional para este tipo de unidades estructurales. Las losas apoyan sobre vigas carreras ubicadas en los muros portantes que dividen las unidades. Las unidades de los extremos descargan sobre muros portantes preexistentes. En este caso, debido a que estos muros tienen un espesor de entre 45 y 60 centímetros, se ejecutaron vigas carreras sobre las que descargan las losas, tomando la precaución de que su profundidad respecto al ancho del muro, no afecte la continuidad del mismo.

En los sectores de reciclaje, el espesor de los muros existentes era de 35 cm, se optó por hacer una viga carrera con una penetración máxima de 12 centímetros en el muro, en la que apoyarían las viguetas. Para su ejecución, luego de extraer los mampuestos se realiza una capa niveladora de hormigón sobre la que se apoyan las viguetas y después de colocadas se completa el llenado. Si bien en la introducción del capítulo se expuso que lo más conveniente es que las viguetas descarguen en forma puntual, sin cortar la continuidad del muro con vigas carreras, en este caso la solución utilizada es otra. No obstante, se tiene en cuenta el objetivo de no cortar la continuidad del muro portante dándole a la viga un espesor de aproximadamente un tercio de la luz del muro.

### **Valoración de aspectos temporales y económicos:**

Respecto al tiempo de obra, el sistema utilizado resulta conveniente, ya que en el sector de obra nueva, las losas prefabricadas implican un importante ahorro de tiempo respecto a losas de hormigón armado. Pero la principal ventaja, se encuentra en lo conveniente que resulta un sistema con menor requerimiento de mano de obra calificada, para una cooperativa de ayuda mutua.

En cuanto al sector de reciclaje, la mayor conveniencia, se centra en la compatibilidad de trabajo existente entre la estructura de muros portantes y el sistema de viguetas y bovedillas cerámicas, también en el valor estético-formal de las bovedillas por ser del tipo porteña. Cabe mencionar al respecto, que las cubiertas pre-existentes eran del tipo techo a la porteña.

Desde el punto de vista de los costos de obra, los proyectistas mencionaron que no cuentan con la información precisa, pero que la solución resulta conveniente, sin que estemos hablando de un ahorro significativo. El factor económico es importante para una obra que se lleva a cabo por el sistema cooperativo, ya que se busca generar una solución de buena calidad al menor costo posible. Tomando en cuenta el modo de producción, en el que la autoconstrucción y la contratación de personal especializado para tareas que así lo requieran son el principal *modus operandi*, podríamos decir que el menor requerimiento de mano de obra calificada, constituye un factor de ahorro importante. Como ejemplo de esto, debemos tomar en cuenta que no se requirió personal para el encofrado de losas.

## CONCLUSIONES

Se busco abordar el tema desde una perspectiva integral, en la que se abarcaran los aspectos técnicos y los proyectuales como un todo. Los diferentes puntos de vista abordados, implican conclusiones de diversa índole.

Lo primero que podemos afirmar, es que el hormigón pretensado, presenta ventajas frente al hormigón armado convencional. Estas ventajas se encuentran en que su forma de trabajo permite superar los inconvenientes del hormigón armado. Una sección trabajando a la compresión impide la aparición de fisuras generadas por la tracción. El pretensado permite además afrontar mayores requerimientos de luces y cargas.

Por otra parte, la prefabricación parcial o total de un proyecto, permite acortar enormemente los tiempos de obra. El hecho de que un cerramiento se construya con elementos que llegan prontos a la obra, permite también disminuir los costos de mano de obra.

Si tomamos en cuenta ambos aspectos a la vez, podríamos decir, que llegando a una conclusión a modo de un silogismo, nos encontramos ante una solución constructiva muy conveniente. No obstante, al estudiar el mercado de la construcción, constatamos que esta solución aún presenta un campo de aplicación limitado. Esto se hace más evidente si consideramos que estos elementos están presentes desde hace ya varias décadas. Lo cual nos hace pensar en cuáles serían las causas por las que no se opta por esta solución, más aún en casos en los que es perfectamente compatible con el proyecto.

*A continuación veremos algunas de las causas por las que nuestro mercado presenta cierta inercia a la utilización de estas unidades estructurales.*

Es sabido que el mercado de la construcción uruguayo, presenta modos de producción altamente artesanales, con alta influencia de la mano de obra en los procedimientos y en los costos de la construcción. La incorporación de nuevas técnicas, por lo general presenta cierta resistencia en primera instancia. Cuando se trata de procedimientos constructivos que implicarían una menor incidencia de la mano de obra, no siempre son vistos con buenos ojos por algunos actores de la construcción, especialmente por la masa trabajadora, ya que conllevan una disminución de las fuentes laborales. Esto no es un dato menor, en un país en el que la industria de la construcción es una de las principales fuentes laborales para mano de obra no calificada. La valoración positiva o negativa de la incidencia de la mano de obra, también depende del modo de producción, por lo cual, y de acuerdo a uno de los ejemplos estudiados, vemos como en una cooperativa de ayuda mutua, es sumamente conveniente la utilización de un sistema que requiere poca mano de obra. Cabe señalar además, que la conveniencia económica de utilizar esta solución frente a una técnica convencional, en realidad depende de varios factores, donde las condiciones de la economía o de la obra en particular, pueden variar en distintos momentos.

Por otra parte, y entrando en otro tema de análisis, se puede decir que se trata de una solución apta para proyectos en los que predomine la ortogonalidad, ya que las piezas que se adquieren en el mercado presentan este tipo de diseño. Además, si el proyecto no ha sido modulado en base a este tipo de unidades, se pueden tener grados de desperdicio importantes. Claro está que si bien se pueden hacer a medida, en algunos proyectos esta condición no resulta suficiente debido a la complejidad de la forma u otras condicionantes técnicas o económicas. Desde este punto de vista, podemos decir que la solución es más adecuada para proyectos que consideraron este tipo de solución desde un principio, o casos en los que la forma proyectada permite adoptar piezas existentes en el mercado o diseñar piezas a medida sin mayores inconvenientes.

En los ejemplos analizados, vimos que en un caso se trataba de un proyecto de pequeña escala con una planta rectangular, que permitía claramente utilizar piezas disponibles en el mercado o diseñar piezas a medida como finalmente se hizo. En otro caso, el proyecto fue modulado en base a elementos existentes en el mercado. Incluso, el cese de la fabricación de estos elementos, por parte del fabricante que se previó originalmente, exigió una readaptación del proyecto.

Pero así como en primera instancia podemos decir que se trata de una solución poco frecuente, en otros casos, la aplicación de estas unidades ha tenido una amplia aceptación. Este es el caso de programas como naves industriales, supermercados, estacionamientos y toda clase de edificios de un carácter utilitario, que requieran salvar luces importantes.

Cuando se plantea estudiar la viabilidad de una solución técnica, es un dato interesante el que nos brinda el mercado, ya que nos permite tener algunos indicios. El hecho de que una técnica tenga más aceptación para determinadas soluciones puede querer decir que no es adecuada para resolver determinados problemas o que no ha sido correctamente valorada. Este trabajo busca centrarse en un punto medio, y tanto el estudio teórico sobre el funcionamiento de estas unidades estructurales, como el estudio de casos, nos demuestran que el campo de aplicación puede ser ampliado. *Sin creer que la utilización de estas unidades puede adecuarse a toda clase de problemas, podemos concluir en una primera instancia, que el campo de aplicación ha sido subvalorado por los actores de la construcción. Es decir, todavía queda pendiente un campo de aplicación mayor al existente actualmente, especialmente en la solución de programas de escala estructural menor, como los edificios educativos y residenciales.*

*Ahora bien, queda pendiente analizar, si las ventajas que se le atribuyen a la utilización de estos elementos, realmente se constatan en los hechos.*

Por un lado, veamos si realmente se pueden acortar de forma significativa los tiempos de obra. En los ejemplos analizados, vimos que efectivamente se lograron reducir los tiempos, pero a su vez, esto iba de la mano de la utilización de una solución estructural y constructiva en pos del mismo objetivo. Es decir, se requiere un pensamiento integral que permite articular todos los factores que intervienen en un proyecto, de tal forma de lograr ese objetivo. Por ejemplo, la utilización de otros modos de prefabricación parcial, puede ser un aliado muy valioso, como vimos en los ejemplos estudiados.

También cabe preguntarse, si el buen nivel de calidad y terminación que se le atribuye a la producción de estos elementos es realmente tal. Respecto a eso, no es fácil llegar a un conceso, ya que cada fabricante ofrece productos de distinto nivel de calidad. No obstante, es cierto que en general se trata de productos con un buen nivel de calidad y terminaciones gracias al modo de producción industrializado.

Además de eso, se planteo que en especial el sistema de viguetas y bovedillas cerámicas, es adecuado para intervención en estructuras existentes. Eso se debe a que trabaja parecido a los viejos sistemas de perfiles metálicos y bovedillas, lo cual, en comparación con la utilización de losas macizas de hormigón armado, disminuye el impacto sobre la estructura de muros portantes en la que se incluye. Se puede constatar en la cooperativa estudiada, y en muchos casos más no abordados en el trabajo, que este sistema ha tenido una amplia utilización en reciclajes y ha resultado eficiente en la generación de entresijos, o en la sustitución de cubiertas en malas condiciones.

En líneas generales, se puede decir que las ventajas atribuidas a las estas unidades estructuras, se cumplen. De todos modos, pueden surgir imprevistos económicos o propios de la obra que demandan estudiar la viabilidad de la solución para cada caso. Ninguna solución está libre de inconvenientes, por lo cual es necesario considerar todas las variables antes de tomar un partido.

## INDICE

Resumen	1
Introducción	1
CAPITULO 1: Hormigón Pretensado	2
Hormigón Pretensado: Conceptos generales	2
Comportamiento del Hormigón Pretensado	3
Sistemas de pretensado: Armaduras Pretesas y Armaduras Postesas	6
CAPITULO 2: Unidades prefabricadas de hormigón pretensado	8
Propiedades de los Materiales	8
Elementos prefabricados	10
Proceso de diseño y dimensionado	16
CAPITULO 3: Producción y Puesta en Obra	20
Producción	20
Puesta en obra	23
CAPITULO 4: El proyecto arquitectónico	27
Liceo 54 (Montevideo)	28
Liceo 1 (La Paz – Canelones)	32
Viviendas COVICIVI 1 (Montevideo)	37
CONCLUSIONES:	41

## BIBLIOGRAFÍA

Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado – Juan Murcia

Estructura Tradicional y Prefabricada en Hormigón – Soltan

Apuntes Materiales de Construcción Hormigón Pretensado Universidad de La Coruña  
– A. del Caño, M.P. de la Cruz.

Hormigón Pretensado: concepción, cálculo, ejecución – R. Lacroix, A. Fuentes

Hormigón Pretensado – Miguel Payá – Monografías CEAC sobre Construcción y  
Arquitectura

Hormigón Pretensado – Leonhardt

La adherencia de elementos prefabricados pretensados de hormigón, problemáticas y  
tendencias actuales, Universidad Politécnica de Valencia – P. Miguel, J.R. Martí, P.  
Serna, M. Á. Fernández

Sítios Web:

Empresa TENSAR (Argentina) [www.tensar.com.ar](http://www.tensar.com.ar)

Empresa FLASUR (Uruguay) [www.flasur.com.uy](http://www.flasur.com.uy)

Empresa TENSOLITE (Argentina) [www.tensolite.com.ar](http://www.tensolite.com.ar)

Empresa MARCOTULLI [www.prefabricadosmarcotulli.com](http://www.prefabricadosmarcotulli.com)