

73



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONCRETO PRESFORZADOS Y PREFABRICADOS".

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL PRESENTA : IGNACIO ALEJANDRO OCAMPO SILVA



ASESOR: ING. LUIS ZARATE ROCHA

MEXICO, D.F.

282752

SEPTIEMBRE 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHILE
Sede Valparaíso

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/007/2000

Señor
IGNACIO ALEJANDRO OCAMPO SILVA
Presente .

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. LUIS ZARATE ROCHA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**“CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONCRETO PRESFORZADOS
PREFABRICADOS”**

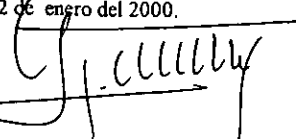
INTRODUCCION

- I. PRESFUERZO Y PREFABRICACION**
- II. ELEMENTOS, SECCIONES TIPICAS Y SUS APLICACIONES**
- III. RECOMENDACIONES DE DISEÑO**
- IV. FABRICACION, FLETE Y MONTAJE**
- V. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
Cd. Universitaria, a 12 de enero del 2000.
EL DIRECTOR


~~M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO~~

GFB/GMP/nll

A mi Papá y a mi Mamá.

Por su gran amor y ENORME paciencia.

A mis hermanas:

**Emma
Laura
Andrea
Ana Aurora**

Porque estoy seguro de que soy su hermano consentido. (No tienen opción).

A mis Amigos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

La mejor!!!

Indice

CAPITULO 1. Presfuerzo y Prefabricación.

- 1.1 Historia y desarrollo.
- 1.2 Prefabricado.
- 1.3 Presfuerzo.
- 1.4 Materiales utilizados para prefabricar y presforzar elementos de concreto.
- 1.5 Equipo requerido para prefabricar y presforzar.
- 1.6 Ventajas y desventajas.

CAPITULO 2. Elementos, secciones típicas y sus aplicaciones.

- 2.1 Trabe - losa TT.
- 2.2 Trabe TTV.
- 2.3 Trabe - losa T.
- 2.4 Trabe TY.
- 2.5 Vigeta y bobedilla.
- 2.6 Losas extruidas.
- 2.7 Trabes portantes y rigidizantes (sección rectangular, T invertida, L, I).
- 2.8 Columnas.
- 2.9 Muros y fachadas.
- 2.10 Pilotes.
- 2.11 Zapatas.
- 2.12 Durmientes.

CAPITULO 3. Recomendaciones de diseño.

- 3.1 Diseño.
 - 3.2 Materiales.
 - 3.3 Construcción.
-

CAPITULO 4.
Fabricación, flete y montaje.

- 4.1 Fabricación.
- 4.2 Programación de Fletes.
- 4.3 Programación y coordinación del montaje.

CAPITULO 5.
Conclusiones.

- 5.1 Conclusiones.
 - 5.2 Comparativa entre una construcción mixta y un sistema de prefabricación y presfuerzo.
 - 5.3 Estructuras prefabricadas y presforzadas.
-

CAPÍTULO 1

PREFABRICACIÓN Y PRESFUERZO.

1.1 HISTORIA Y DESARROLLO.

En el año de 1866, en California, se obtuvo una patente para el material, pero no fue sino hasta finales de la década de los cuarenta, cuando realmente inició el desarrollo del concreto presforzado; asimismo, contribuyó a su uso la aguda escasez de acero que se presentó en Europa al finalizar la Segunda Guerra Mundial durante el período de reconstrucción.

Generalmente se considera al francés Eugene Freyssinet como el "Padre del concreto presforzado". Su interés en la materia, y las pruebas que realizó a principios de siglo, lo llevaron a pensar que el presfuerzo sería una propuesta práctica si existiese disponibilidad tanto de acero de alta resistencia como de concreto de alta calidad. Ambos materiales arribaron lentamente y fue hasta 1928 cuando Freyssinet logró obtener su primera patente, estableciendo así la teoría del presfuerzo.

En los Estados Unidos, el presfuerzo se desarrolló de una manera diferente. En lugar de presforzar linealmente los elementos, se utilizó de manera circular, para construir tanques para contener líquidos, y no fue hasta 1949 cuando se realizó la primera gran estructura con sistema de presfuerzo lineal, el puente Walnut Lane en Filadelfia, con traveses de sección tipo I.

Para 1954 fue fundado en Estados Unidos el PCI, Instituto de Concreto Presforzado (Prestressed Concrete Institute).

1.2 PREFABRICADO.

Se denomina prefabricado, a todo elemento estructural o arquitectónico, que pasa por las etapas de fabricación, flete y montaje, sin importar sus dimensiones, ya que puede ir desde un block de concreto, hasta una trabe para un puente. Es elaborado mediante un proceso en serie e industrializado, generalmente en planta, y en algunos casos a pie de obra, para que posteriormente sea colocado en su posición definitiva, en la estructura.

Para producir un prefabricado, se requiere de moldes generalmente metálicos, en el caso de elementos estructurales, y de fibra de vidrio o madera, en el caso de elementos de fachada.

El fin que se busca con la prefabricación, es obtener la estandarización de diversos elementos y secciones, para poder abatir costos, ahorrando en mano de obra y tiempo de ejecución.

1.3 PRESFUERZO.

Consiste en crear un estado de esfuerzos y deformaciones internas de compresión en un elemento (antes de ponerlo en servicio) con el fin de contrarrestar total o parcialmente los esfuerzos de tensión, a los que estará sometido el elemento una vez que se encuentre en condiciones de servicio, de este modo permitirá soportar mejor las cargas y fuerzas, obteniéndose así, un mejor comportamiento estructural. Esto se logra mediante el uso de tendones tensados, pueden ser de alambre de acero de alta resistencia, de torones hechos con alambre de acero de aleación de alta resistencia o de varillas de acero. Existen dos métodos para presforzar un elemento: pretensado y postensado.

En una viga se utiliza el presfuerzo para precomprimir su patín inferior, para que en servicio, pueda resistir sin agrietarse, esfuerzos de tensión debidos a la flexión.

En un pilote el presfuerzo se utiliza para que no se agriete bajo esfuerzos ocasionados por contracción, transporte, manejo e hincado.

Un recipiente a presión puede presforzarse para resistir los esfuerzos de tensión, ocasionados por los gradientes térmicos y de presión interna.

Una delgada losa de piso puede presforzarse para que permanezca plana bajo cargas normales de servicio.

1.3.1 Pretensado.

Es la aplicación de un presfuerzo por medio del esforzado de los tendones en contra de las reacciones exteriores, lo cual se efectúa antes de que se cuele el concreto, luego se vacía el concreto en el molde y se deja que el concreto fragüe hasta un alto porcentaje de su resistencia última, entonces los tendones se sueltan para transmitir el esfuerzo al concreto. Generalmente el pretensado se aplica a elementos de concreto precolados.

A continuación se muestra de manera esquemática el procedimiento de presforzado, y su comportamiento al aplicarle carga, comparándolo con el procedimiento normal de armado.

En la figura No. 1, se puede apreciar el comportamiento interno de una viga a la cual se le aplica una carga. En las fibras superiores se producen esfuerzos de compresión, mientras que en las fibras inferiores, los esfuerzos son de tensión.

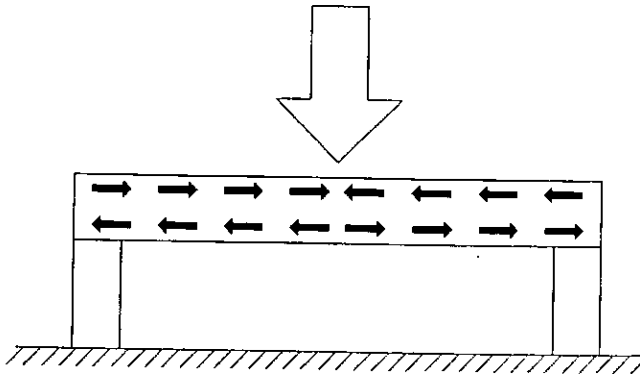


FIGURA No. 1

En la figura No. 2, se muestra esquemáticamente una viga sin acero de refuerzo, a la cual se le aplica una carga; el concreto por si solo no puede soportar esfuerzos internos de tensión, por lo cual se producen fisuras en la viga y falla.

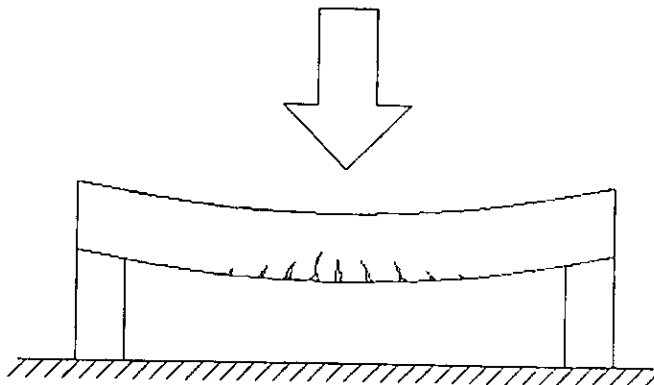


FIGURA No. 2

Por lo tanto, la viga se refuerza por medio de acero, el cual si soporta esfuerzos de tensión, y evita que la viga se colapse. (Figura No. 3).

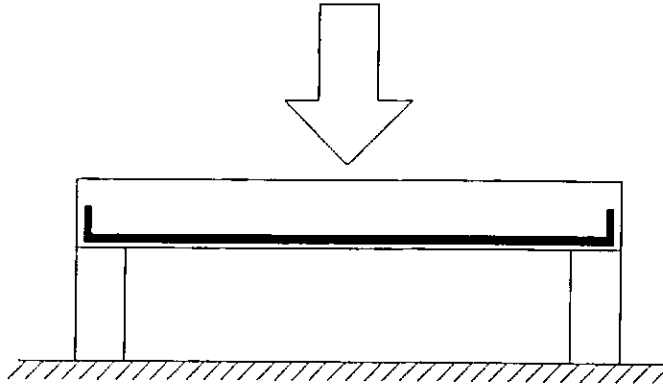


FIGURA No. 3

En el caso del presfuerzo, se tensan tendones de acero, por medio de gatos hidráulicos dentro del molde de la viga, donde posteriormente se vacía el concreto y se deja que fragüe.

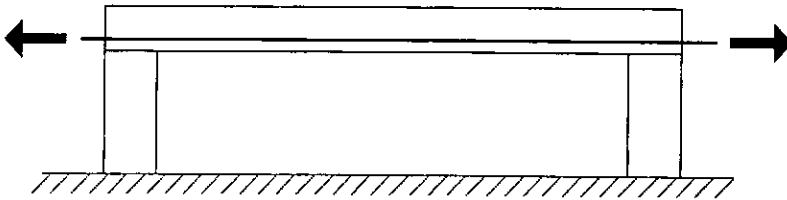


FIGURA No. 4

Una vez que el concreto obtiene un 80 % de su resistencia máxima, se liberan los tendones de acero de los gatos y se transfiere el esfuerzo a la viga, gracias a la adherencia entre el acero y el concreto, el esfuerzo de tensión de los tendones, se transforma en esfuerzo de compresión en la viga, el cual soporta sin ningún problema el concreto. (Figura No. 5).

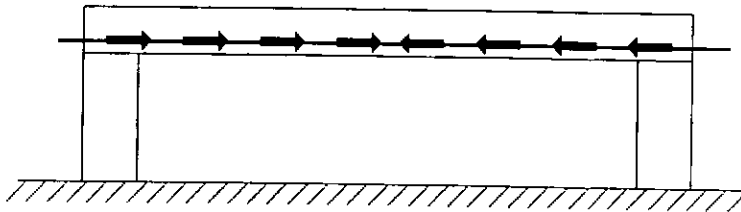


FIGURA No. 5

Al aplicarle la carga a la viga preforzada, los esfuerzos de tensión provocados por la carga, se contrarrestan con los esfuerzos de compresión producidos por el presfuerzo. Lo cual nos permite obtener elementos más esbeltos con mayor capacidad de carga. (Figura No.6).

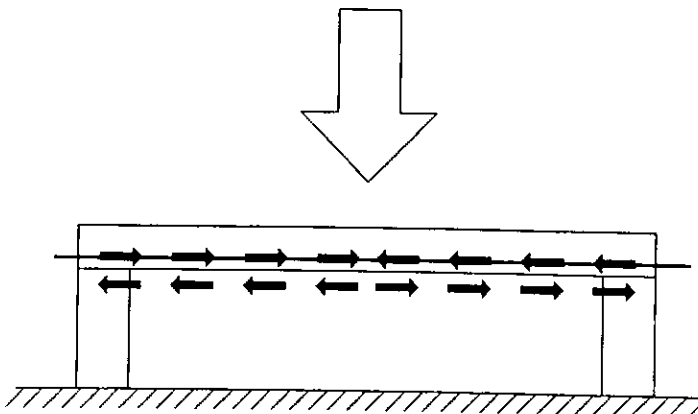


FIGURA No. 6

1.3.2 Postensado.

Es la aplicación del presfuerzo, presforzando y anclando tendones a concreto ya fraguado. Comúnmente los ductos se forman por medio de tubos dentro del cuerpo del elemento de concreto. Una vez que el concreto ha fraguado y alcanzado una resistencia suficiente, los tendones se insertan y se tensan por medio de gatos, posteriormente se colocan anclas para que transmitan a través de éstos la carga.

1.4 MATERIALES UTILIZADOS PARA PREFABRICAR Y PRESFORZAR ELEMENTOS DE CONCRETO.

Los materiales que se emplean en una planta prefabricadora, varían de acuerdo al elemento que se va a elaborar, ya sea estructural o arquitectónico.

Materiales básicos para elementos estructurales:

- Cemento normal tipo I (norma ASTM – C – 150)
- Grava (norma ASTM C – 33)
- Arena (norma ASTM C – 33)
- Aditivos para concreto.
- Agua.
- Acero de refuerzo ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$)
- Acero de presfuerzo (alambre o torón 250 o 270k)
- Placa de acero de alta resistencia
- Soldadura E-70-18 y E-90-18 para distintos espesores.
- Malla electrosoldada.
- Alambre recocido
- Oxígeno y Acetileno

- Diesel y gasolina
- Madera (triplay, polín, barrote)
- Poliducto (engrase de torones y perforaciones en las piezas)
- Polietileno

El torón de 250 ó 270k quiere decir que tiene capacidad de 250,000 y 270,000 libras por in² respectivamente, esto es 250k = 17,618 kg/cm² y 270k = 19,028 kg/cm².

1.4.1 Concreto.

El concreto es un material heterogéneo, compuesto de agregados aglutinados en una pasta; por lo general, los agregados son arenas y gravas naturales o piedra triturada, y la pasta es de cemento Portland hidratado por medio de agua. Generalmente, el concreto utilizado para el presfuerzo tiene una resistencia de 250 a 500 kg/cm². Existen especificaciones adecuadas y detalladas para la selección y evaluación de los materiales para el concreto como las de la Asociación Americana para Pruebas de Materiales (ASTM).

Cemento.

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un sólido compacto, por medio de una reacción química al mezclarse con el agua. Comúnmente en el concreto presforzado se utiliza cemento Portland, del cual se tienen 5 tipos, de acuerdo a la especificación ASTM C150.

Tipo I. Común.

Para uso general en construcciones de concreto, cuando no se requieren las propiedades especiales que los demás tipos de cemento tienen. Es decir, se utiliza donde el concreto no estará expuesto al ataque de agentes agresivos

como los sulfatos del suelo o del agua, o a elevaciones perjudiciales de temperatura debido al calor generado en la hidratación.

Tipo II. Modificado.

Utilizado en construcciones de concreto expuestas a una acción moderada de los sulfatos o cuando se requiere un calor moderado de hidratación.

Tipo III. De resistencia rápida.

Para la elaboración de concretos en los que se requiera una alta resistencia a temprana edad. Se usa cuando se tienen que retirar las cimbras o moldes lo más pronto posible, o cuando la estructura se debe de poner en servicio rápidamente.

Tipo IV. De bajo calor.

Este tipo de cemento tiene una composición diseñada para que en su solidificación, la cantidad generada por las reacciones químicas sea mínima. Este concreto se utiliza en construcciones masivas debido a que el calor generado por el cemento normal, produciría un incremento excesivo de temperatura y por ende, los defectos consecuentes. El desarrollo de la resistencia mecánica es lento, pero se iguala a los demás cementos a edades de 6 y 12 meses.

Tipo V. De alta resistencia a los sulfatos.

Se utiliza cuando se requiere una alta resistencia a la acción de los sulfatos. Este cemento ayuda a resistir los efectos corrosivos de concentraciones moderadas de sulfatos líquidos almacenados en agua subterránea.

Los más utilizados en el concreto presforzado son los tipos I, II y III; el cemento se escoge sobre las bases de su alta resistencia rápida, contracción mínima, durabilidad y economía, debiendo evitarse un fraguado demasiado rápido.

El tipo I es adecuado para la mayoría de trabajos en edificios, pero el tipo II es preferible para ambientes costeros y marinos, el cemento tipo II proporciona al concreto una mayor durabilidad, debido a sus buenas propiedades para frenar la corrosión en el acero.

Algunos cementos tipo III tienden a ocasionar un fraguado acelerado o bien una contracción excesiva durante el curado a vapor.

Para la fabricación de 1m^3 un concreto de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ se requiere de las siguientes proporciones:

- Cemento normal tipo I	450 kg
- Grava normal	915 kg
- Arena	590 kg
- Agua	190 lt
- Aditivo superfuidificante (0.45 % del peso del cemento)	2 lt

Agregados.

Debido a que en los elementos de concreto presforzado se quiere obtener concreto de alta resistencia, el tamaño máximo del agregado grueso se debe limitar a 1.9 cm.

Los agregados gruesos no deben contener vetas de arcilla que puedan producir cambios excesivos de volumen, como en los casos de flujo plástico y contracción.

Para concreto normal de alta resistencia, se utilizan con buen resultado tanto grava como roca triturada, pero con la grava se obtiene un mejor manejo de la mezcla y compactación, con relaciones bajas de agua– cemento; para concreto de muy alta resistencia, es preferible utilizar la roca triturada de angularidad adecuada; pero se requiere de un vibrado intenso para obtener una buena compactación.

El tamaño de los agregados finos puede ser mayor que en el concreto común y corriente, ya que con los altos factores de cemento que se utilizan en el concreto presforzado no se necesita una graduación perfecta.

Los agregados deben estar limpios, ya que hasta un pequeño porcentaje de polvo o tierra puede hacer que las mezclas secas para el concreto presforzado sean excesivamente pegajosas y difíciles de colocar. La tierra y el polvo ocasionan a menudo un fraguado demasiado rápido y reducen la resistencia, aumentando la contracción; generalmente se pueden eliminar mediante un lavado.

Los agregados no deben contener sal, ya que a porcentajes pequeños de sal, reducen el valor del concreto para frenar la corrosión y puede contribuir a que se inicie la corrosión electroquímica; esto es particularmente peligroso cuando se utiliza el curado a vapor.

Agua.

Anteriormente el único requisito estándar para el agua era que fuese potable; sin embargo; el agua que se utiliza en trabajos de presforzado debe tener restricciones mayores en cuanto al contenido de sal, polvos y materias orgánicas; las limitaciones son las siguientes:

- No contener impurezas que modifiquen en más de un 25% el tiempo de fraguado, ni una reducción en la resistencia a los 14 días, mayor de 5%.
- Menos de 650 partes por millón de iones de cloruro.
- Menos de 1300 partes por millón de iones de sulfato.
- El agua no debe de contener aceite.

Aditivos.

Un aditivo, es un producto industrializado, que se utiliza como ingrediente en el concreto y se le agrega a éste, antes o durante el mezclado. Los aditivos son

utilizados para modificar las propiedades normales del concreto, para hacerlo más adecuado para las condiciones particulares en las que se pretende utilizar.

Los aditivos se utilizan para los siguientes fines:

- Aumentar la resistencia (sin modificar la relación agua-cemento, 60% f'c en 48 hrs.).
- Retardar o acelerar el fraguado inicial.
- Reducir la permeabilidad.
- Mejorar las condiciones de bombeo.
- Aumentar la adherencia entre el concreto viejo y el nuevo.
- Para dar coloración al concreto.

Los aditivos son muy útiles en el concreto presforzado, pues permiten el uso de una relación de agua-cemento más baja, conservando la manejabilidad; algunos reducen también la contracción y otros son retardantes a temperaturas normales; pero ocasionan aceleración en el incremento de resistencia bajo el curado a vapor.

Muchos aditivos utilizados en colados de concreto convencional contienen cloruro de calcio; esto debe prohibirse completamente en trabajos de presfuerzo, ya que existen pruebas, de que causan corrosión en el acero, especialmente cuando se realiza el curado a vapor.

Almacenamiento de los agregados y del cemento.

Un almacenamiento inadecuado puede ocasionar la contaminación y deterioro de las cualidades de los agregados. Los agregados expuestos al sol pueden sobre calentarse, para evitarlo se les resguarda con una cubierta de lámina galvanizada o de aluminio.

El cemento se debe de almacenar y utilizar de modo que no se deje envejecer y obviamente debe de estar protegido contra la humedad.

1.4.2 Acero de presfuerzo.

Generalmente el presfuerzo es en forma de alambres de alta resistencia a la tensión estirados en frío, los diferentes tipos de acero que se utilizan para el presfuerzo son cable, tendones, varillas, torones.

Tendón.

Es un elemento estirado de acero de alta resistencia, que se usa para transmitir presfuerzo en un elemento de concreto. Los tendones pueden formarse de alambres individuales estirados en frío, varillas o torones.

Torón.

Grupo de alambres de acero de alta resistencia, torcidos en forma de hélice alrededor de un alambre, y que cumplen con los requisitos de las normas británicas BS 3617:1971 para torones de 7 alambres y BS 4757:1971 para torones de 19 alambres.

Los alambres varían en su diámetro, desde 2 hasta 8 mm; pero el diámetro más pequeño de uso general para elementos estructurales es de 4 mm.

Existen dos tipos básicos de torón para presfuerzo, con 7 o 19 alambres. Su elección depende principalmente del grado de flexibilidad y resistencia requeridas. El más comercial es el de 7 alambres, el cual es más fácil de fabricar y se utiliza generalmente en tamaños desde 6.4 hasta 18 mm de diámetro exterior.

Los tendones son el elemento más importante en la elaboración de elementos presforzados, por lo tanto se deben de cuidar los siguientes aspectos:

Relajación de esfuerzos.

Los tendones de acero tensados sufren una pérdida de esfuerzo debido al flujo plástico, en ocasiones se puede esperar pérdidas del 6 al 13%.

El alambre de acero puede recibir un tratamiento mediante un proceso conocido como "estabilización" en el que se combinan temperatura y esforzado, lo cual reduce considerablemente la relajación de esfuerzos a largo plazo.

Si durante la operación de presfuerzo se sobrefuerza un tendón (hasta el 75 u 80% de su resistencia máxima) y se mantiene así por 1 ó 2 minutos se inducirá un efecto similar al del suavizado de esfuerzos.

Ductilidad.

La ductilidad es un requisito esencial para los tendones y su objeto es evitar que se rompan fácilmente durante su instalación y servicio. Para medirla se utilizan por lo general pruebas de doblado y de alargamiento; éstas últimas deben hacerse con tramos de tendón suficientemente largos, para compensar la influencia del área de estrangulamiento. La mayoría de las especificaciones requieren un alargamiento del 2% o más.

Corrosión.

Es esencial proteger los tendones contra una corrosión considerable, pues ésta puede afectar su ductilidad o simplemente reducir su sección transversal, reduciendo así el presfuerzo y por tanto la resistencia máxima, la corrosión puede reducir también la resistencia a la fatiga.

Fatiga.

La fatiga no es un problema en los aceros utilizados para el presfuerzo porque los tendones de presfuerzo atraviesan por un rango muy pequeño de cambio de esfuerzos mientras la carga varía desde cero hasta su valor máximo.

Adherencia.

Depende en gran parte de las características de la superficie, una superficie muy pulida, ofrecerá mucho menos adherencia; de manera similar, cualquier lubricante que se deje en los alambres después de colocarlos, reducirá la adherencia.

1.4.3 Acero de refuerzo.

Éste incluye todo el acero no presforzado, sean en forma de torones o cables sin esforzar varillas de acero dulce, varillas de acero de aleación, etc.

Por lo general en un miembro presforzado, este tipo de refuerzo se utiliza para tomar los esfuerzos secundarios y los esfuerzos cortantes, pero también se puede usar como acero adicional principal para obtener una mayor capacidad máxima o para controlar el funcionamiento del elemento.

Existen tres tipos de acero de refuerzo, definidos por su límite plástico (F_{yp}), o bien, por límite de fluencia (f_y), es decir, el punto de fatiga en el cual después de aplicada una carga, el material ya no se recupera siguiendo la ley de Hook.

Los tres tipos de acero son: $f_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$ acero normal, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ acero de alta resistencia y 6000 kg/cm^2 AR-80.

1.4.4 Soldadura.

La soldadura que normalmente se utiliza, en la elaboración de elementos presforzados y sus juntas es 70-18 de 1/8 ó 5/32" y 90-18 de 5/32" en soldadura a tope.

En el caso de que se especifiquen juntas soldadas a tope, éstas se efectuarán de acuerdo a las normas del American Welding Society buscando que sean siempre capaces de desarrollar un esfuerzo tal a tensión igual a 125% de la resistencia de fluencia especificada para el acero de refuerzo de proyecto. Éstas capacidades serán controladas por medio de pruebas físicas y radiográficas conforme a las normas del A.W.S.

1.4.5 Malla.

Para la prefabricación de elementos estructurales y de fachada, generalmente se utiliza la malla electrosoldada de 6x6 – 6/6.

1.4.6 Accesorios ahogados en el concreto.

En las construcciones de concreto son muy comunes los casos en que es necesario ahogar algunas piezas en el elemento; pero en el caso del concreto presforzado es necesario tomar algunas precauciones.

Cambios de volumen.

Los elementos presforzados se acortan, en movimientos tanto plásticos como elásticos; esto puede cambiar la ubicación de los accesorios ahogados en el concreto.

1.4.7 Apoyos.

Las vigas y traveses presforzadas están sometidas a cambios considerables de volumen en condiciones de servicio y continúan acortándose por influencia del flujo plástico, las diferencias de humedad entre los patines superior e inferior pueden ocasionar contracciones diferenciales y las diferencias de temperatura pueden causar aumentos en la contraflecha. Las cargas de servicio ocasionan la consiguiente rotación de los extremos y cambios de longitud.

Todos éstos fenómenos se presentan en cierto grado en el concreto reforzado convencional, pero en el caso del concreto presforzado se agravan debido a las secciones generalmente más esbeltas y al efecto del presfuerzo mantenido constantemente.

Los apoyos deben de permitir los movimientos longitudinales y la rotación, mientras que mantienen también un soporte vertical adecuado.

Los apoyos de neopreno son los más ampliamente utilizados y se encuentran fácilmente disponibles con la dureza adecuada y en varios espesores, para tomar el movimiento total anticipado, en apoyos mayores se utiliza un "emparedado" de neopreno y placas de acero. El neopreno permite la rotación y el movimiento.

1.4.8 Materiales especiales.

Dispositivos para desviación de tendones.

Existen accesorios especiales que actúan sobre el acero de presfuerzo ya tensado para mejorar el comportamiento estructural de la pieza, evitando esfuerzos de compresión excesivos en los extremos de los elementos por medio del desvío de tendones. Sin embargo, existe otro procedimiento que también controla los esfuerzos en lugares donde no se necesitan, por medio de engrase de los torones con un bastón de poliducto de la longitud que se requiera según el proyecto.

Placa guía.

Son placas de acero, con orificios por donde pasan los tendones y se utilizan para ubicar en la posición correcta el acero de presfuerzo en el molde.

Separadores.

Sirven para espaciar los elementos que se fabrican en los moldes.

Yugos.

También llamados placas de anclaje, se utilizan para transmitir el presfuerzo de los tendones a las mesas o a los moldes (en el caso de que sean autopresforzantes). Es en éstos donde se apoyan los anclajes de pretensado

efectuándose de esta forma la transmisión del presfuerzo al elemento resistente.

Arneses.

Son armaduras metálicas que sirven de apoyo a las piezas que no son autoestables, tanto en la estiba como en el transporte. Se utiliza por lo general un arnés en cada extremo de la pieza, los elementos que generalmente requieren arneses son los de sección: T, I, L y TTV.

Si la pieza a fabricar es de tipo estructural, se tendrá que especificar desde el proyecto, la resistencia nominal del concreto ($f'c$), la cantidad de armado adicional, accesorios de conexión, dispositivos especiales de anclaje, número de tendones y colocación, número y posición de ganchos de izaje.

1.5 EQUIPO REQUERIDO PARA PREFABRICAR Y PRESFORZAR.

Para que una planta prefabricadora pueda operar correcta y eficientemente, es necesario que cuente con el siguiente equipo básico:

- Planta dosificadora de concreto y equipo para su colocación en los moldes o cimbras.
- Almacén de acero de presfuerzo, así como el equipo adecuado para tender los tendones en el molde o cimbra.
- Almacenamiento de acero de refuerzo e instalaciones y equipo para su habilitación.
- "Mesas", en las cuales se esfuerzan los tendones, se colocan las cimbras y se cuele el concreto; dichas mesas deben tener capacidad para resistir las altas fuerzas de compresión, así como los momentos ocasionados por la distancia entre el tendón y la superficie de la mesa y también por las deformaciones de los tendones.

-
- Equipo especializado para aplicar el presfuerzo (por lo general un equipo de gatos hidráulicos, mordazas y tornillos de apriete para los tendones).
 - Mecanismos para dar curvatura a los tendones, en caso necesario.
 - Moldes y cimbras de elementos prefabricados más comunes.
 - Equipo para colar y vibrar el concreto.
 - Equipo para aplicar un curado acelerado (generalmente, un sistema de vapor a baja presión).
 - Equipo para izaje y manejo.
 - Áreas de almacenamiento.
 - Equipo de transporte de elementos.
 - Equipos para pruebas e inspección.
 - Instalaciones para mantenimiento e instalación.
 - Servicios (agua, corriente eléctrica, combustible, aire comprimido, etc.).
 - Taller de fabricación de insertos, accesorios, estrobos, bloques separadores, etc.
 - Equipo de corte y soldadura.
 - Mano de obra especializada y calificada para cada una de las diferentes tareas que se requieren en la fabricación.
 - Servicios de ingeniería para dibujos de taller y de trabajo y cálculos varios.
 - Dirección y administración del patio, registros de costos, contabilidad, compras, despacho de materiales, estimaciones, etc.

La planeación de los puntos anteriores es importante para un correcto funcionamiento de la planta prefabricadora. Dado que en el proceso de prefabricación, lo que se busca es la optimización en la elaboración de los elementos de concreto, con el fin de reducir costos, es importante poner atención en los puntos siguientes:

- El almacenamiento y flujo de materiales, debe organizarse de tal modo que se reduzcan al mínimo las distancias de acarreo para lograr un proceso de producción eficiente. La entrega de material debe de tener un flujo en línea recta hasta el punto de utilización, cuando esto sea posible.

-
- Las mesas deben de diseñarse para permanecer niveladas y precisas, a pesar de las cargas repetidas y el hundimiento del terreno.
 - Debe tenerse un almacenamiento adecuado para mantener limpios y secos el acero de presfuerzo, el acero de refuerzo y los accesorios.
 - En todas las áreas de trabajo y en el área de almacenamiento deben existir caminos y drenajes adecuados. Es muy importante eliminar las marcas profundas de las ruedas, o los agujeros, que puedan ocasionar la volcadura de una grúa o un montacargas, lastimando a un trabajador o dañando algún producto o el equipo.
 - Los gatos hidráulicos y los tornillos de apriete de los tendones deben conservarse adecuadamente, limpios y bien lubricados, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Generalmente las cimbras se diseñan para ser utilizadas varias veces y por lo tanto deben de ser de acero, concreto, fibra de vidrio, o estructura pesada de madera, de resistencia equivalente; debe prestarse especial atención a los traslapes y juntas de cimbras, ya que las salientes o irregularidades pueden producir agrietamientos. Las superficies de las juntas deben mantenerse rígidamente alineadas.

Las cimbras deben de limpiarse inmediatamente después de sacar el producto, prestando particular atención en la eliminación de la lechada en las juntas y agujeros usadas para fijar los accesorios.

Los elementos deben de almacenarse sobre apoyos firmes, colocados tan cerca como sea posible de los puntos de apoyos finales o sobre los puntos especificados. Proteger las losas delgadas del calor excesivo del sol y de la lluvia.

Una de las justificaciones principales para el establecimiento de una planta prefabricadora, para la producción de concreto presforzado, es de lograr la utilización más eficiente de la mano de obra, para lograr este propósito se

requiere un programa de trabajo cuidadosamente elaborado, donde cada empleado tenga perfectamente definidas sus tareas a realizar en la producción.

A continuación se enumeran los procesos se llevan a cabo en secuencia, no están ligados entre sí, cada uno de ellos es independiente de los otros, en lo que se refiere al ciclo de producción. Una secuencia típica, por estaciones sucesivas, sería la siguiente:

- Limpieza de los moldes.
- Aceitado de las cimbras o moldes.
- Colocación de tendones, el refuerzo y los accesorios (piezas ahogadas en el concreto).
- Aplicación del esfuerzo a los tendones.
- Colocación de la mezcla de concreto.
- Vibrado y compactación de la mezcla.
- Acabado de la superficie.
- Inspección.
- Descimbrado de los moldes laterales.
- Curado con vapor.
- Almacenamiento del producto.
- Flete.

Los factores que son decisivos para la elección del sistema pretensado son los siguientes:

- Tamaño del elemento.
- Número de elementos requeridos.
- Conveniencia de los alambres rectos.
- Similitud de los elementos a fabricar.

1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

1.6.1 Ventajas.

Los elementos de concreto prefabricado y presforzado son elaborados bajo condiciones ideales de control de calidad, mientras que la cimentación y trabajos complementarios son ejecutados simultáneamente en el sitio de la obra, con el fin de que el flete y montaje de las piezas se realice de manera eficaz y oportuna, basándose en un programa de construcción. En proyectos de gran magnitud, esta disminución de tiempo se traduce en ahorro de mano de obra en sitio y cargos por financiamiento, por una entrega de la obra en un tiempo menor, en comparación con la construcción en sitio.

Reducción de las secciones de los elementos estructurales.

El uso de elementos de concreto presforzado permite optimizar las secciones de los elementos que integran los módulos estructurales permitiendo claros mayores, para menores peraltes.

Gran capacidad de carga.

El concreto presforzado posee la resistencia y la rigidez esenciales para resistir cargas pesadas.

Durabilidad.

El concreto prefabricado es sumamente resistente contra la intemperie.

Claros largos.

Debido a que se disminuyen elementos de soporte (columnas y muros de carga), se ganan mayores espacios libres. Lo cual brinda una gran flexibilidad en el diseño de interiores, así como economía y eficiencia.

Opción de ampliación.

Los elementos prefabricados pueden fácilmente ser diseñados para concebir expansiones horizontales y/o verticales en edificaciones. De este modo, el diseño de edificaciones prefabricados bajo el concepto modular, las modificaciones se realizan con costos bajos.

Larga vida útil y mantenimiento mínimo.

Las construcciones prefabricadas dan años de servicio con un mínimo de reparaciones y mantenimiento. Esto debido a que los elementos prefabricados y/o presforzados se elaboran en moldes metálicos, de concreto o de fibra de vidrio, obteniéndose superficies tersas y homogéneas, también al evitarse las grietas mediante el uso del presfuerzo, se reduce la penetración de la humedad, de contaminantes o agentes corrosivos que dañan el concreto.

Moldeabilidad del concreto.

Dadas las características propias del concreto, es posible elaborar diseños estructurales y arquitectónicos de una gran variedad.

Apariencia atractiva.

Con tratamientos especiales en la superficie, así como el uso de aditivos y agregados, los patrones, texturas y variaciones de color en el concreto prefabricado son ilimitadas, brindando una amplia gama de combinaciones en el diseño de fachadas arquitectónicas.

Producción de elementos idénticos.

Debido a que los elementos prefabricados y/o presforzados se elaboran en moldes, se obtienen piezas idénticas, lo cual es de gran utilidad en la elaboración de fachadas, dando una gran uniformidad en las formas y el acabado.

Eliminación de uso de cimbra y obra falsa.

Los elementos prefabricados, por ser elaborados en moldes metálicos, el número de usos que se le puede dar a los moldes es muy grande, comparado con el que se le puede dar a una cimbra en sitio, por lo tanto se elimina el uso de cimbra y mano de obra para su habilitado, reduciendo el costo y el tiempo de entrega de la obra terminada para su utilización.

Control de calidad.

Los elementos prefabricados en planta son elaborados bajo condiciones óptimas de moldeo, habilitado de acero, colocación de accesorios, vibrado y curado del concreto, con sistemas no disponibles en obra. También se cuenta con un laboratorio especializado, para realizar las pruebas de resistencia y calidad del concreto utilizado en la fabricación de los elementos.

Resistencia al fuego.

Siendo el concreto un material no combustible, resulta excelente para prevenir la propagación de incendios, ya sea dentro de la estructura o entre estructuras.

Baja transmisión de sonido.

La densidad del concreto utilizado para la prefabricación, es ideal como aislante acústico, lo cual lo hace apropiado para edificios de apartamentos, condominios, hoteles, escuelas, auditorios fabricas, etc.

Conservación de la energía.

Gracias a las características propias del concreto, lo convierten en un perfecto aislante térmico, lo cual contribuye en el ahorro de recubrimientos y equipos de aire acondicionado.

Control de flujo plástico y contracción del concreto.

Por estar almacenados los elementos pretensados durante 30 ó 60 días, después de su fabricación, antes de ser colocados en obra, una proporción significativa, (50 % o más) de las pérdidas a largo plazo como el flujo plástico y

la contracción del concreto antes de que los elementos prefabricados sean montados en la estructura. Esto reduce la cantidad de movimientos por pérdidas a largo plazo. Además, los elementos prefabricados utilizan concreto de alta resistencia con una baja relación agua-cemento, la cual minimiza la cantidad de pérdidas potenciales.

1.6.2 Ventajas del pretensado con respecto al postensado.

- Mayor control de calidad.
- Rapidez de ejecución de la obra.
- Es un proceso industrializado.
- Mejores condiciones de trabajo (accesos y frentes limpios)
- Menor costo de anclaje del presfuerzo.

1.6.3 Desventajas del pretensado con respecto al postensado.

- Costo adicional por flete y montaje.
- Inversión por instalaciones y equipo especial.
- Fabricación de elementos de dimensiones limitadas.
- Conexiones complicadas.

Los principales factores para decidir entre un sistema pretensado y uno postensado son:

La cantidad de elementos iguales a fabricar y sus dimensiones.

CAPÍTULO 2

ELEMENTOS, SECCIONES TÍPICAS Y SUS APLICACIONES.

La combinación de concreto de alta resistencia con acero de presfuerzo también altamente resistente, produce elementos muy fuertes que permite cubrir claros largos con secciones relativamente esbeltas.

Durante el periodo de desarrollo de los prefabricados y del presfuerzo se ha procurado estandarizar la producción de elementos tipo, para reducir costos, un producto más económico y poder competir con los sistemas tradicionales de construcción.

Los elementos estandarizados, ofrecen máxima economía, ya que se fabrican con eficiencia bajo un estricto control de calidad y con personal de experiencia y capacitado, en una línea de producción en serie, con moldes generalmente metálicos, lo que da un excelente acabado aparente a los elementos o bien se les puede aplicar cualquier tipo de acabado, según se deseé.

2.1 ELEMENTOS PRECOLADOS, PRETENZADOS Y ESTANDARIZADOS.

El término de elementos pretenzados estandarizados, no quiere decir que exista una norma igual que en los elementos estructurales de acero, que son tabulados en el manual del AISC y que se encuentran disponibles con cualquier fabricante de acero estructural. Ya que, en el caso de las plantas prefabricadoras, las secciones que producen son consecuencia de los moldes de acero con los que cuentan en su planta y para lo cual, disponen de un catálogo ilustrado de los detalles de los elementos, tabulaciones, claro-carga, geometría, peso, etc.

La sección T, fue el primer elemento precolado y pretensado que se estandarizó en los Estados Unidos. Mientras que la T sencilla es la sección óptima para los claros más largos y la doble T para los claros menores, no existe un punto perfectamente determinado que divida en donde sea más conveniente utilizar una u otra. Lo que generalmente rige son los factores tales como: disponibilidad, economía, flete y montaje de cada uno de los elementos.

Como es sabido, con el sistema de prefabricación, se puede elaborar una gran variedad de elementos estructurales y arquitectónicos, por lo que describir cada producto sería prácticamente imposible, debido a esto únicamente se hace referencia a los elementos prefabricados de concreto más comunes. Los cuales son:

2.1.1 Sistema de piso.

Se conoce como sistema de piso al conjunto estructural formado por trabes portantes, rigidizantes y losa de entrepiso; el sistema de piso puede ser de tres tipos:

- Colado en sitio.
- Totalmente prefabricado.
- Mixto.

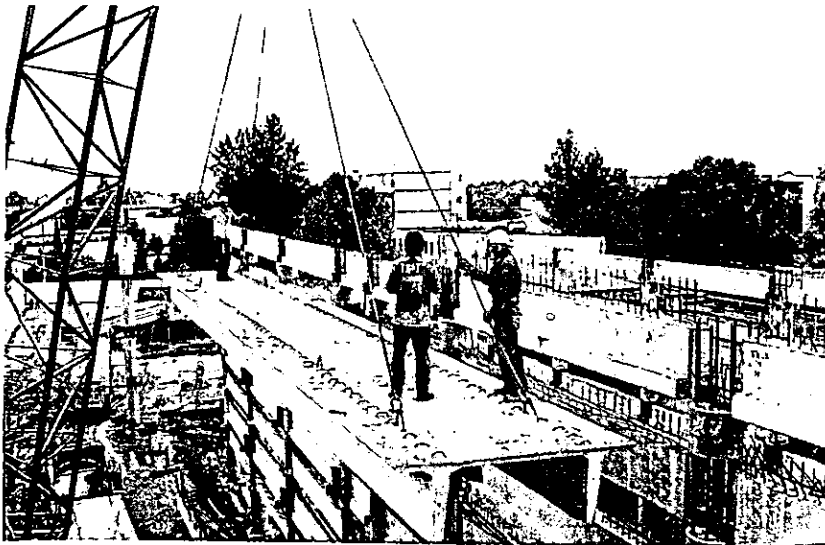
Dependiendo de las características propias de cada proyecto, se evalúa cada una de las opciones, para optar por la más conveniente, desde el punto de vista de costo, el sistema prefabricado es más caro, y el colado en sitio es más económico; pero si se ve desde el punto de vista de tiempo de ejecución, el prefabricado es el de menor tiempo de ejecución, lo cual nos lleva a realizar un estudio económico, tomando estas dos variables en conjunto para decidir cual de las opciones, es la más conveniente, para ejecutar un proyecto en particular.

Los sistemas de piso, ya sean prefabricados o mixtos, están compuestos por los siguientes elementos:

2.1.2 Sección doble T.

Mejor conocida como viga o losa TT, es un elemento prefabricado y por lo general presforzado, por lo que el diseño de estas piezas está regido por las especificaciones del ACI (American Concrete Institute) y del PCI (Prestressed Concrete Institute) y del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal o el Reglamento vigente dependiendo de la zona en que se construya.

Estas piezas se fabrican en moldes metálicos de alta precisión, en lugar de utilizar cimbras de madera, lo cual da un excelente acabado aparente al elemento.



Estos moldes metálicos determinan las dimensiones geométricas de las piezas a fabricar, siendo éstas generalmente desde 30 hasta 70 cm de peralte y con un ancho de patín variable, desde 1.45 hasta 3.0 m.

Lo anterior da lugar a una amplia gama de posibles combinaciones de anchos y peraltes del elemento, para poderse adecuar a un proyecto en particular, en el cual, las cargas a soportar y los claros a cubrir pueden ser variables. De este modo se logra una optimización de cada elemento.

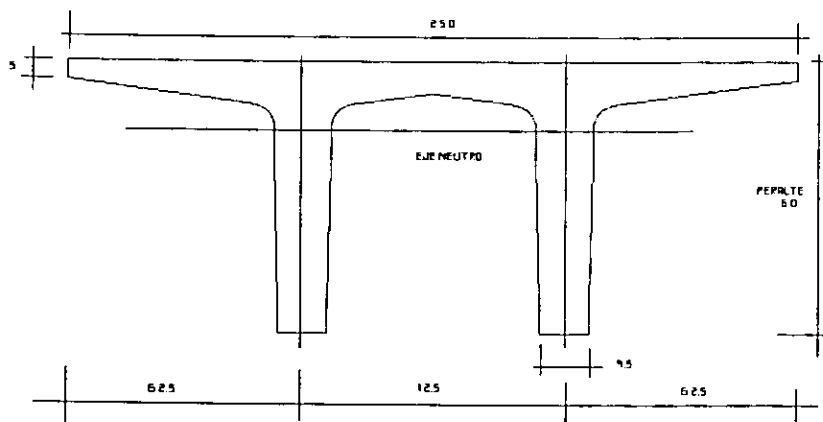
La longitud de los claros que se pueden salvar con la doble T oscila entre 6 y 24m, si salen de estos límites, el proyecto podría tener otra solución más económica. En el caso de claros menores de 6 m, una opción más económica y conveniente, sería utilizar losa extruida, y si se tratase de claros mayores a 24 m, es preferible utilizar un elemento como la viga T, que puede cubrir claros mayores, ya que es posible fabricarla con peraltes superiores de 70 cm.

El principal uso de la doble T es como sistema de cubierta de entresijos, aunque la versatilidad de la pieza permite que sea utilizada también como muros de carga, o como sistema de fachada.

De este modo y dependiendo del uso que se le vaya a dar a la pieza, será necesario diseñarla como sección simple o como sección compuesta, es decir, sin o con firme adicional de concreto de 5 cm de espesor armado, por lo general con electromalla 6x6 – 6/6.

Con el fin de facilitar el diseño de estructuras, las empresas prefabricadoras cuentan con catálogos de sus productos, donde se indica la geometría de secciones, sean de sección simple o compuesta, así como las especificaciones de diseño, fabricación y características estructurales de cada pieza.

A continuación se muestran las tablas de las secciones geométricas de las TT de 2.5 m de ancho de patín.



Características geométricas de una sección TT.

Sección simple. (Elemento sin firme)

PATIN	h	Y _i	Y _s	A	I	S _i	S _s	Peso Kg/m
250	30.48	22.04	8.44	2121	158385	7186	18766	509.04
250	40.64	29.05	11.59	2401	341252	11747	29444	576.24
250	50.80	36.06	14.74	2647	600897	16664	40766	635.28
250	60.96	43.19	17.77	2858	931291	21563	52408	685.92

Sección compuesta. (Elemento con firme 5 cm)

PATIN	h	Y _i	Y _s	A	I	S _i	S _s	Peso Kg/m
250	30.48	26.10	9.38	3371	255109	9774	27197	809.04
250	40.64	33.87	11.77	3651	507048	14970	43080	876.24
250	50.80	41.59	14.21	3897	855837	20578	60228	935.28
250	60.96	49.36	16.60	4108	1291269	26160	77787	985.92

PATIN: Es el ancho del elemento en cm.

h: Peralte en cm.

Yi:	Es la distancia de la fibra inferior más alejada al eje neutro en cm.
Ys:	Es la distancia a la fibra superior más alejada al eje neutro en cm.
A:	Es el área de la sección en cm ² .
I:	Es el momento de inercia de la sección en cm ⁴ .
Si, Ss:	Son módulos de sección inferior y superior en cm ³ .

En cuanto a la fabricación de las TT el control de calidad impone las siguientes tolerancias máximas:

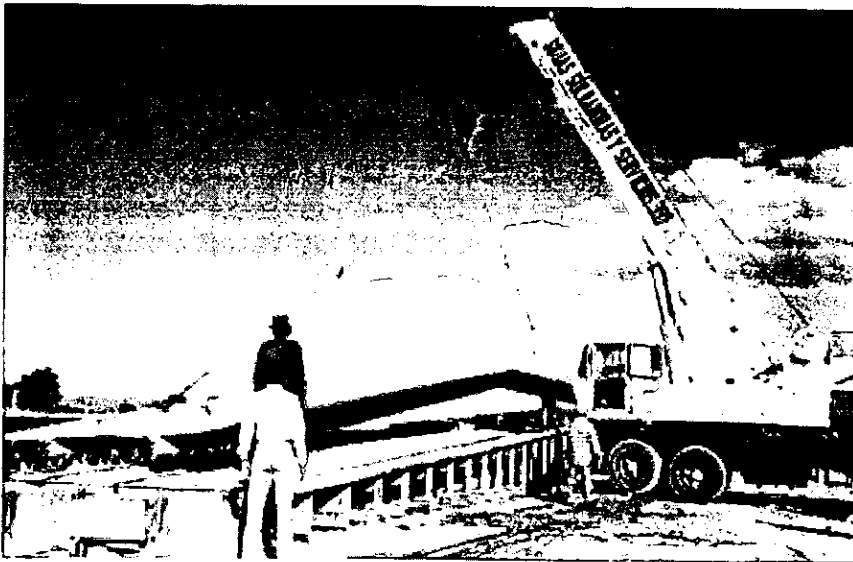
- Longitud: ± 13 mm
- Patín: ± 6 mm
- Peralte: ± 6 mm
- Espesor de alma: ± 3 mm
- Espesor de huecos: ± 13 mm
- Posición de huecos: ± 13 mm
- Diferencia de contraflechas (real y de diseño): ± 6 mm

Las TT pueden formar parte tanto de un sistema de piso mixto, como de un sistema prefabricado, utilizándolas como cubiertas de entrepiso o losa. Una viga o losa TT es inadecuada para usarse como trabe portante o rigidizante.

2.1.3 Losas TTV (sección variable).

Es utilizada principalmente para cubiertas con una pendiente del centro de la cumbre a los extremos del 6.25 %. Proporciona techos económicos y de gran calidad por tratarse de cubiertas de concreto, que necesitan un menor mantenimiento, alargan la vida de la estructura, proporciona una mejor protección contra la intemperie y es muy adecuada para centros de trabajo, para disminuir el ruido.

Las trabes TTV son elementos estructurales presforzados y prefabricados, los cuales, por sus características especiales, únicamente pueden ser utilizados como sistemas de cubiertas para techo, generalmente para bodegas y naves industriales. Debido a su geometría, se evitan los rellenos, enladrillados o firmes, que usualmente se tienen que construir para el desagüe pluvial, en el techo de la estructura.

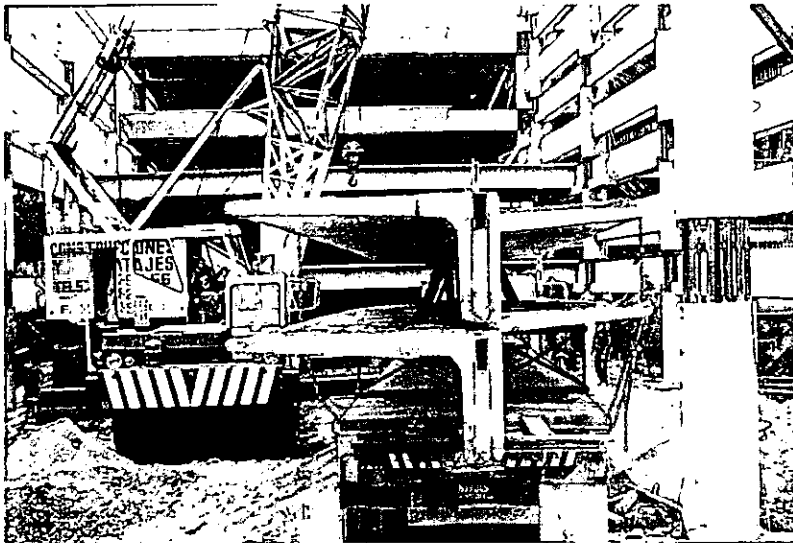


Las trabes TTV son diseñadas basadas en las especificaciones del ACI, PCI y el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, y fabricadas en moldes metálicos, dándoles así un acabado uniforme, y por ser elementos presforzados, tienen un mínimo de grietas, que para un elemento de techumbre, es una característica muy importante, ya que se ahorra mucho dinero en mantenimiento e impermeabilización.

Por ser de sección variable, el cálculo de las características geométricas de las TTV es difícil y debido a esto las empresas prefabricadoras en sus catálogos, indican a través de tablas y gráficas obtenidas de la estandarización de las piezas, los detalles generales que pudieran servir, para realizar el proyecto y cálculo, tales como: volumen, área, momento de inercia, centroide, módulo de sección y capacidad de claro, para determinar las dimensiones de las piezas a fabricar, según las necesidades particulares de cada proyecto.

2.1.4 Sección T.

Es una pieza diseñada para librar grandes claros, debido a su capacidad de compresión en el patín, por lo cual es la pieza de mayor versatilidad y con la cual, se ha logrado la máxima estandarización de este tipo de elementos.



La viga trabe T es posible utilizarla como:

- Losa de entre piso.
- Cubierta para techo.
- Sistema de muro o fachada.
- Trabe rigidizante.
- Trabe para puentes (aumentando la sección del alma).

Entre mayor sea el claro disminuye la capacidad de carga del elemento, haciéndose necesario aumentar el peralte y el presfuerzo de la trabe.

2.1.5 Sección TY.

Es una sección especialmente diseñada para funcionar como un sistema de cubierta, donde se requiere salvar grandes claros, utilizando la TY como trabe portante de láminas estructurales. Este sistema compite con gran efectividad contra soluciones tradicionales para naves industriales y bodegas.

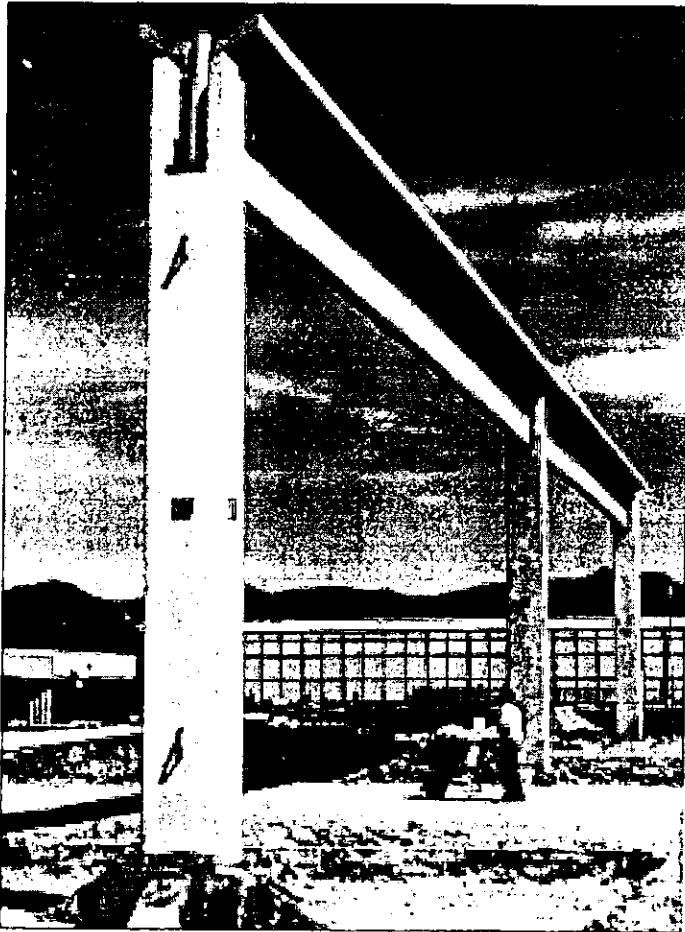
Por el hecho de funcionar como trabe portante que cubre grandes claros, esta pieza siempre es presforzada y prefabricada. La sección TY es muy similar en el alma a la trabe T, por esta razón es posible utilizar el molde de esta última, acondicionándolo con alas abatibles.

Cada fabricante tiene un solo ancho estándar para este tipo de pieza, los más comunes van de 294 a 300 cm; los peraltes básicos son tres: 80, 100 y 120 cm, y dependiendo de éstos, las longitudes van desde 15 hasta 30 m.

Las ventajas principales de utilizar el sistema TY y lámina estructural como cubierta en naves industriales son:

- Reducción en los tiempos de construcción.

- Bajos costos de financiamiento, por la rápida recuperación de la inversión.
- Libre de mantenimiento.
- Una tercera parte del sistema es de concreto.
- Debido a la geometría de la trabe TY, ésta sirve como canalón para las bajadas de agua pluvial.



2.1.6 Vigeta y bovedilla.

Es un sistema especialmente diseñado para facilitar la construcción de viviendas a un costo razonable. Este sistema está compuesto de dos elementos prefabricados: la vigeta y la bovedilla. Su principal aplicación es en techos y losas para viviendas que no excedan de 3 niveles.

El sistema de construcción basado en vigeta y bovedilla representa las siguientes ventajas:

- Rapidez de construcción.
- Ahorro en cimbra.
- Reducción en el peso propio del sistema.
- Disminución en la obra negra.
- Economía por el bajo costo y rápida construcción.

La característica principal del sistema, es la sustitución de cimbra con elementos que reciben el colado in situ del firme estructural, mismo que hace trabajar al sistema como una losa monolítica, reduciendo vibraciones y deformaciones.

Las vigetas se fabrican utilizando concreto de $f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$, son pretensadas con acero de alta resistencia y son utilizadas estructuralmente como largueros, que transmiten la carga a los apoyos del sistema portante (generalmente muros de carga).

Las bovedillas, se apoyan en las vigetas integrando el sistema de losa. El sistema está diseñado para soportar las siguientes cargas: peso propio, carga muerta: 100 kg/cm^2 y carga viva: 250 kg/cm^2 .

El proceso de fabricación de las vigetas, consiste en largos moldes de colado, en los cuales se vacía el concreto con una máquina especial, que deposita el concreto y le da forma a las vigetas.

Las bovedillas se fabrican de manera similar a los blocks de concreto, utilizando mangueras que producen una bovedilla a la vez. Se fabrican de diferentes peraltes según las necesidades para cubrir claros.

2.1.7 Losas extruidas.

Son unidades de concreto planas y huecas y a la vez presforzadas que se utilizan para sistemas de entrepiso y azoteas. También tienen otra aplicación estilo sándwich (con aislamiento), trabajando como elementos que soportan carga o simplemente como elementos de fachada. Se fabrican mediante maquinaria y moldes especializados, con procesos patentados; los principales tipos de losas extruidas son:

- Spancrete
- Dynaspan
- Flexicore
- Spiroll
- Dy – core

En México la losa extruida más conocida es el Spancrete, y se fabrica en 5 peraltes nominales: 8.0, 10.2, 15.2, 20.3 y 25.4 cm, se maneja un ancho estándar en todas las tabletas que es de 1.0 m y la longitud es variable según pedido desde 3.0 hasta 15.0 m. Los principales usos a los que se destina este tipo de losa son:

- Entrepisos y techos.
- Muros (de carga y fachadas).

- Bardas ornamentales.
- Tapas de cimentación.
- Muros de contención.

Este tipo de losa puede utilizarse como sección simple o como sección compuesta. En esta última el firme estructural es de 5 cm de espesor con concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, armado con malla electrosoldada de $6 \times 6 - 6/6$. El acabado de la losa depende del tipo de sección que se pretenda elaborar, en el caso de la sección simple (sin firme) el acabado será terso y aparente; si se trata de una sección compuesta (con firme), el acabado será rugoso, para que el concreto del firme tenga adherencia.

La losa extruida, reduce su peso de manera significativa debido a los huecos. El aligeramiento va desde un 30 a un 40 % en comparación con una losa normal colada en sitio del mismo espesor. Este aligeramiento, se traduce en un ahorro importante en la estructura general, ya que se disminuye la sección de las columnas y la cimentación.

El proceso de fabricación del Spancrete requiere de maquinaria especial que vaya vaciando el concreto en las mesas de producción, al mismo tiempo que se realiza la extrusión de la losa y la compactación del concreto en capas.

El Spancrete utiliza una mezcla de concreto muy seca (cercana al revenimiento cero). Para integrar la losa, se deposita la mezcla en 3 capas, las cuales se van compactando por medio de apisonadores integrados en la máquina extrusora.

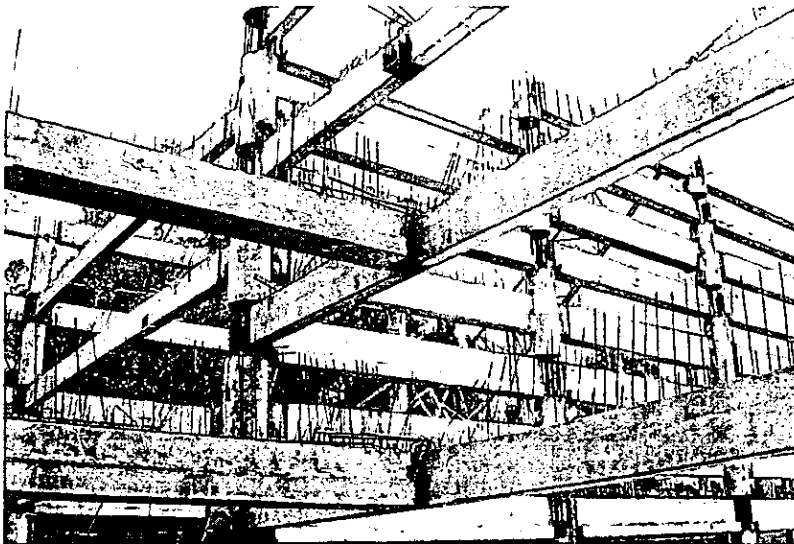
Las 2 capas superiores se apisonan alrededor y encima de la cimbra deslizando que viene con la máquina, dejando ya hechos los huecos en la losa. Un ciclo de fabricación de Spancrete se realiza diariamente en mesas de producción de aproximadamente 150 m.

2.1.8 Trabes portantes y rigidizantes.

El sistema de piso se complementa con las traveses o vigas portantes, pudiendo ser coladas en sitio o prefabricadas, en este último caso depende de la estructuración que se logre, durante la etapa de proyecto, de la forma, número y tipo, de las traveses a fabricar.

Cuando las traveses son prefabricadas, es posible presforzarlas, con lo cual se logra un mejor comportamiento estructural del sistema; siempre y cuando se realicen conexiones eficaces para asegurar el comportamiento monolítico de la estructura (marcos en ambos sentidos).

Existen varias secciones que pueden ser utilizadas como vigas portantes, las cuales también funcionan como rigidizantes. Las secciones más comunes son:



Sección rectangular.

Es la más sencilla de las secciones que se fabrican, utilizándose como trabe portante tanto en ejes externos, como en ejes internos. Es la más versátil de las trabes puesto que también funciona como rigidizante.

Sección T invertida.

Es una sección que se utiliza como trabe portante en ejes intermedios, debido a su gran capacidad para recibir cargas por ambos lados. Por su geometría, logra una importante reducción en la altura de los entrepisos. No es usual emplear esta trabe como rigidizante.

Sección L.

Es el complemento de la sección T invertida, ya que se utiliza como trabe portante en los ejes exteriores, por su característica de recibir carga por un solo lado. En ocasiones se fabrica en el mismo molde que la T invertida, tapando uno de los lados del molde para obtener la sección L. Esta sección tampoco es usual que se utilice como rigidizante.

Sección I.

La trabe rigidizante más usual en edificios es la sección I. Su geometría obedece a un mejor aprovechamiento del refuerzo de acero y del concreto, en zonas en las que estos materiales realmente trabajan. Suele combinarse la sección I con una sección rectangular en la zona próxima al apoyo con las columnas, por ser el lugar donde se presenta el máximo esfuerzo cortante.

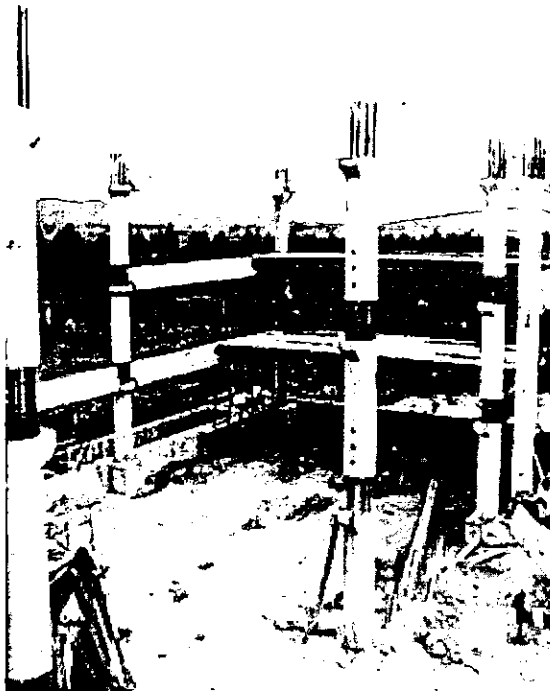
Otra aplicación útil de la sección I, es la de ser capaz de cubrir grandes claros para puentes (hasta 42 m). Solamente que para funcionar como tal, las dimensiones de la sección I se incrementan y en muchas ocasiones por el peso o por el presfuerzo aplicado, estas piezas no pueden ser fabricadas en planta, para lo cual es necesario utilizar el postensado.

2.1.9 Columnas.

Las columnas prefabricadas pueden hacerse en muy diferentes secciones, pero las más comunes son las de sección cuadrada y sección rectangular.

Las dimensiones de las columnas cuadradas varían en rangos que van desde 25 cm hasta 60 cm por lado, en cambio las columnas de sección rectangular, el lado largo llega a ser de hasta 100 cm.

Para que sea rentable la prefabricación de un proyecto, es recomendable que mínimo sean 300 ml de columnas a fabricar, para que se justifique la elaboración de moldes, ya que por lo general en México no existe una estandarización en este tipo de elementos. Lo anterior, brinda una gran flexibilidad en el diseño estructural, dentro de márgenes de manejo tanto en planta como en obra.



Debido a que el transporte de las piezas de la planta a la obra es un aspecto muy importante, representa una limitante en cuanto a las dimensiones de la pieza. Sin embargo para columnas de gran longitud (30 m o más) se puede disponer de arneses especialmente diseñados, para sujetarlas y poder transportarlas. Estos arneses deberán de tener un sistema de doble pivote para evitar el efecto torsionante durante el flete.

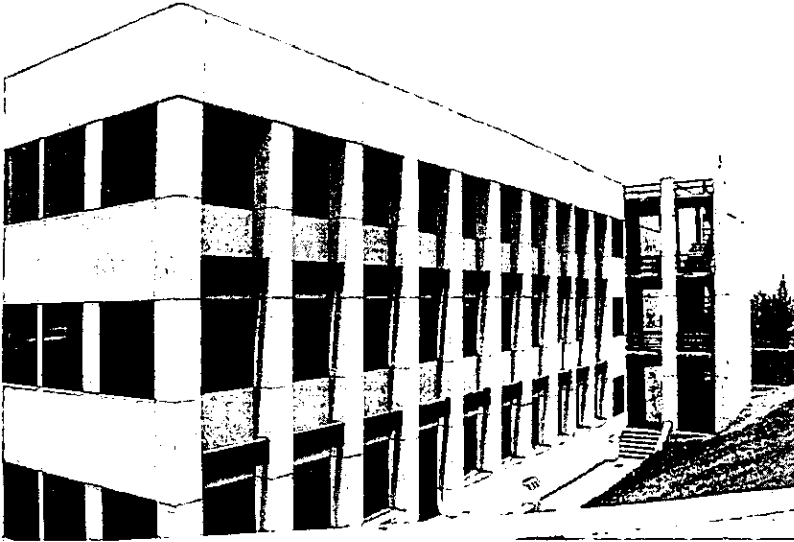
Si la columna es muy larga, es factible fabricarla por secciones y ya una vez en obra conectar los tramos para obtener la longitud total de la columna conforme a proyecto. De este modo se puede facilitar el manejo de la columna sin afectar el comportamiento estructural, respetando las consideraciones de diseño para edificios de varios pisos. Otro método para mantener los esfuerzos por debajo de los permisibles durante el flete y montaje, es mediante el uso de presfuerzo, de este modo se pueden transportar piezas más largas, ya que reduce la tensión de las fuerzas laterales producidas por el movimiento durante su transportación.

2.1.10 Muros y fachadas.

Los muros y fachadas pueden dividirse en tres tipos:

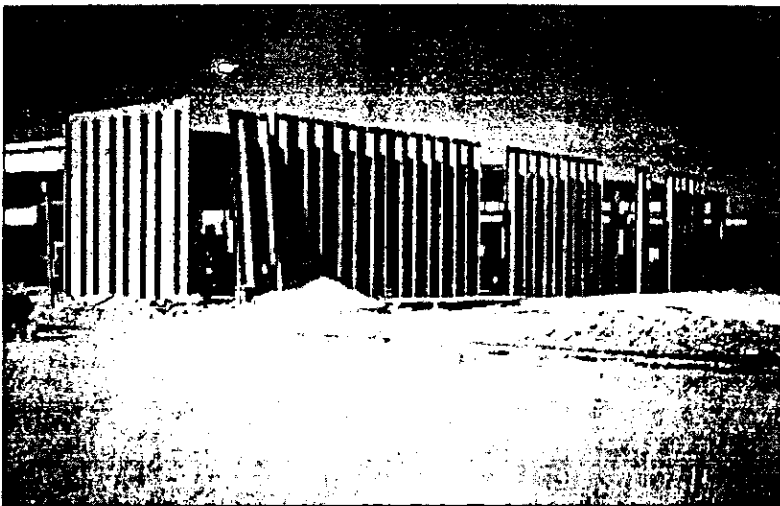
Paneles o fachadas arquitectónicas:

Están diseñados para soportar únicamente su peso propio y las fuerzas laterales tales como viento y sismo. Pueden ser de muy diversas formas, dependiendo las necesidades del proyecto. Pueden ser parapetos, paneles perforados de ventana, paneles horizontales o paneles completos de piso a techo.



Muros de cortante (no portante).

Están diseñados para transferir las fuerzas laterales (viento o sismo) de los diafragmas horizontales a la cimentación o algún otro elemento vertical.



Muros de carga.

Diseñados para soportar cargas verticales de la propia estructuración del edificio.

Con el uso de concreto prefabricado, el proyectista tiene la oportunidad de diseñar cualquier fachada que desee, tanto en material, textura, forma, acabado o color, ya que se pueden crear una gran variedad de opciones, las cuales únicamente están limitadas por la propia creatividad del diseñador. Debido a su fabricación industrializada y la estandarización que resulta de un correcto diseño modular, los diferentes moldes se hacen posibles para prefabricados de fachada, mismos que no son económicamente factibles con concreto colado en sitio.

Los muros y paneles de fachada prefabricados tienen varias ventajas que justifican su uso.

Rápida construcción.

Las unidades se fabrican en un ciclo diario, almacenándose en la planta mientras se ejecutan otros trabajos en obra, hasta que se completa la estructuración del edificio. El rápido proceso de montaje de estas unidades proporciona ahorros en los costos de financiamiento por la rápida terminación de la obra.

Control de calidad.

Por ser elaborados en moldes de alta precisión, se cumple con las tolerancias estrictas de fabricación, obteniendo a su vez un acabado uniforme en todos los elementos.

Durabilidad.

Los concretos de alta densidad y resistencia con los que se fabrican los paneles, aseguran un excelente acabado y por lo tanto una larga vida útil.

Acabados.

Se puede lograr una amplia gama en acabados y texturas en estos elementos.

Homogeneidad.

Tanto en la geometría, textura y acabados de todas las piezas que se fabrican.

Economía.

Como resultado del diseño modular y ahorro en mano de obra.

Resistencia al fuego.

Cualidad de todos los elementos producidos con concreto.

Bajo mantenimiento.

Una apropiada selección de los acabados, acompañado de un diseño de drenaje adecuado, eliminan el deterioro de las piezas.

El acabado que pueden tener las fachadas prefabricadas es muy amplio, se puede obtener muy diversas combinaciones de textura, color y diseño de formas para obtener el acabado deseado. A continuación se presentan algunos ejemplos de acabados para fachada.

Revestimiento de mármol y granito.

Aunque sea caro, estos materiales tienen la gran ventaja de ser altamente resistentes a la intemperie, absorción y abrasión, además brindan una buena vista.

Acabado Sandblast.

Las fachadas prefabricadas pueden ser sandblasteadas, para exponer ligeramente las partículas de arena y una porción del agregado grueso. El sandblasteo produce un efecto en la superficie ligeramente grabada, que expone los agregados y refracta la luz.

Acabado de agregado expuesto.

Se obtiene con el uso de aditivos retardantes en el concreto. Posteriormente puede aplicárseles aire comprimido o sandblasteo a los elementos pero esto no es muy usual. El método más común es el siguiente: colocar los agregados que van a quedar expuestos en contacto con el molde y se le rocía el aditivo retardante a la pieza una vez que se haya colado la misma, posteriormente se cepilla o se le aplican chorros de agua de alta presión.

Acabado martelinado.

Una superficie martelinada o fracturada se obtiene colocando cables o cadenas en la cama de colado. Una vez que se levanta el molde, el cable o cadena se jala, dejando una impresión a todo lo largo, fracturándose las piezas entre las crestas, quedando un efecto de costillas.

Antes de escoger el tipo de fachada y la textura de las mismas será necesario que el proyectista haga ciertas consideraciones de diseño.

Primero, deberá visitar varias fábricas que produzcan muros y/o fachadas precoladas. Haciendo esto el proyectista llega a familiarizarse con el procedimiento de producción, incluyendo la fabricación de moldes; los problemas para realizar el colado de las piezas y obtener las diferentes texturas; los métodos de manejo en planta y en obra; finalmente la forma de efectuar las conexiones de los paneles con la estructura. Todo lo anterior es muy importante a fin de que se comprenda la adecuada utilización de cada material.

En la elaboración de los croquis de trabajo, el proyectista debe de trabajar conjuntamente con el fabricante, así mismo el diseño estructural de estas piezas deberá de realizarse entre el calculista y el arquitecto. Por otra parte, el fabricante proporciona tanto los cálculos necesarios para asegurar que el pánel sea manejado adecuadamente desde su fabricación hasta el transporte y

montaje, como los croquis referentes a esos aspectos. Se debe obtener la completa aprobación del proyectista o cliente antes de mandar a fabricar los moldes. En grandes proyectos, se elabora una muestra tipo del muro o fachada para presentarla a la aprobación del cliente, para tener una referencia exacta de cómo se verá el acabado y textura del elemento prefabricado, una vez aprobada la muestra, se fabrican los elementos, con el mismo procedimiento, proporcionamiento y agregados, para mantener la similitud con la muestra aprobada por el cliente.

En el diseño de muros o paneles los siguientes aspectos deben de ser considerados.

- Diseño y fabricación de moldes.
- Colocación del concreto.
- Desmoldes de piezas.
- Manejo de las unidades durante el resane y almacenamiento.
- Transporte al sitio de obra.
- Montaje.
- Conexión con la estructura, incluyendo contraventeo temporal.

En la revisión de las unidades por el fabricante tanto para los insertos o ganchos de izaje como para el refuerzo de acero se deberán tomar en cuenta las siguientes etapas del proceso.

- Desmolde.
- Manejo en planta.
- Transporte.
- Montaje.
- Conexiones.
- Aplicación de la carga.

Esto es porque a menudo los esfuerzos en el muro o panel durante las primeras cuatro etapas excedan a los causados por la aplicación de la carga. Así el refuerzo y los accesorios de izaje deberán funcionar correctamente para cada una de ellas. El doble uso que se le puede dar a los insertos, influye en la reducción del costo de la unidad.

Diseño de moldes.

Para secciones simples, o cuando se utilice muchas veces la cimbra, entonces se justifica el uso de moldes metálicos. Al contrario, si se fabrican secciones complejas, entonces se utilizan moldes de madera, fibra de vidrio o concreto.

La mayoría de los elementos verticales se fabrican en moldes de concreto o fibra de vidrio.

Cuando alguna pieza lo requiere, el molde puede integrarse en partes, ensamblando y desensamblando estos para cada colado. La consideración primordial es el concepto de diseño y como completar éste de la manera más eficiente. El diseño final deberá considerar el máximo uso de las cimbras, procurando el uso de secciones diferentes al mínimo (es decir tratar de llegar a la estandarización); también deberá preverse un fácil proceso de desmolde de los elementos, así como evitar el despostillado en los cantos o en los cambios de dirección de las unidades que pudieran disminuir la calidad de las mismas.

Estos elementos generalmente se fabrican en posición horizontal con la parte que será expuesta hacia abajo. De esta forma las partes verticales del elemento deben de ser con pendiente positiva para un fácil desmolde.

Si el pánel es pretensado, deberá considerarse el acortamiento elástico del concreto durante el destensado.

Debido a que el concreto se acorta durante el curado o durante otras etapas que causan cambios de volumen, se generan esfuerzos adicionales en las

esquinas de las piezas al contacto con los moldes, pudiendo presentarse alguna deformación, así como agrietamientos y despostillado en las piezas, de esta forma todas las esquinas interiores deberán tener chaflán o curvatura con radio mínimo de 1 cm.

Desmolde y manejo de piezas.

Para finalizar un diseño de pánel o muro, debe considerarse un eficiente manejo de las unidades desde su remoción de los moldes hasta el montaje en el sitio de obra. Dependiendo de la posición en la que se fabrican las piezas, la secuencia de manejo, se estudia, siendo revisada estructuralmente para cada etapa, colocando los insertos de izaje en forma adecuada. En cada uno de estos pasos se mantiene el equilibrio y balance con respecto del centro de gravedad de la pieza, a fin de que bajo ninguna circunstancia se presenten esfuerzos que pueden ocasionar agrietamientos. Siempre que sea posible se deberán utilizar cuatro puntos de apoyo para el izaje si es que las unidades se fabricaron horizontalmente. Algunas veces, por el tamaño, el peso o la configuración de la pieza, más de cuatro puntos de apoyo se hacen necesarios.

A continuación se presentan algunas piezas prefabricadas que funcionan como fachadas arquitectónicas.

Páneles horizontales.

Son elementos de gran longitud y de poco espesor que cubren claros de columna a columna, abarcando los planos de techo y piso de cualquier nivel.

Estos pánels encierran el sistema de piso y llenan el espacio entre el piso terminado y el lecho bajo el ventanaje o entre la altura del parapeto, como se puede apreciar en las fachadas de las estructuras de los estacionamientos. Los pánels horizontales se diseñan para soportar su peso propio, aunque a veces pueden transmitir la carga tributaria del sistema de piso de los elementos de soporte.

Páneles perforados (de ventana).

Estas unidades pueden ser usadas como elementos que soportan carga o también elementos que no lo son. Sus aplicaciones se limitan a edificios de 4 pisos ó 15 m de altura aproximadamente.

Páneles sólidos.

Son de espesor reducido y pueden diseñarse como elementos arquitectónicos o como muros de carga y cortante. Su geometría les permite aceptar presfuerzo, pudiéndose fabricar de forma estandarizada y en moldes sencillos, como son los de la sección T o el de la TT. Estas piezas pueden interconectarse horizontal y verticalmente cuando se usan para transmitir cargas verticales y laterales hacia otro elemento o hacia la cimentación.

Cuando los páneles se utilizan como elementos arquitectónicos de fachada, las juntas de los elementos se dejan abiertas con el subsecuente calafateo realizado en obra. Pueden ocuparse para encerrar un muro entero, o colocándose espaciadamente entre áreas de cancelaría o ventanería. Normalmente estos páneles se colocan verticalmente con altura de uno o dos pisos, siendo el ancho de 2.4 m, debido a que su transportación no requiere permisos especiales.

En comparación con los páneles de ventana o perforados, los páneles sólidos son fácilmente presforzables, debido a su capacidad de asimilar el presfuerzo sin tener que desviar los tendones. Estos pueden ser planos y lisos, con nervaduras en su cara exterior o fabricados en secciones estructurales tipo, como TT.

Una ventaja de presforzar, es que se obtiene una forma más económica de reforzar comparada con la que se obtiene del acero ordinario. Asimismo el presfuerzo ayuda a mantener los esfuerzos durante el manejo de las unidades por debajo de los permisibles. También debido al presfuerzo se incrementa la capacidad última por flexión del muro, siendo que en la mayoría de las

aplicaciones el diseño por flexión gobierna sobre el diseño de capacidad de carga axial del elemento.

Páneles tipo sandwich.

En lugares de climas extremosos se hace necesario aislar térmicamente durante el día y conservar la energía durante la noche. De esta manera los páneles tipo sandwich ofrecen la solución ideal para la edificación, proporcionándose con éstos una superficie durable por ambos lados. El acabado de los lados puede ser de cualquier tipo.

Estos paneles pueden diseñarse como elementos que sólo soportan su peso propio o como elementos que transmiten carga pudiendo ser de sección estructural firme o compuesta.

Se usa la sección estructural simple cuando las temperaturas de cada lado del muro son diferentes, integrándose de la siguiente forma: el espesor externo varía entre 4 y 6 cm, siendo no estructural este espesor se soporta del interno que es el estructural con ganchos flexibles, obteniéndose un espesor externo libre de reaccionar a la temperatura o cambio volumétrico, protegiéndose de esta forma la placa de aislamiento de poliuretano.

Cuando los páneles tipo sándwich se fabrican en secciones estructurales estándar (sección T y TT) el espesor externo es el estructural.

Un pánel estructural de sección compuesta es aquél en el que tanto el espesor externo como el interno, son estructurales actuando como una unidad para resistir fuerzas transversales.

2.1.11 Pilotes.

Cuando las descargas verticales de un edificio o de un puente o en general de cualquier estructura, provocan que las capacidades y presiones admisibles del terreno se sobrepasen, utilizándose cimentaciones superficiales de dimensiones adecuadas, entonces la opción es utilizar un sistema de cimentación profunda con pilotes o pilas según sea el caso.

Esto significa que la capa resistente del terreno no se encuentra cercana a la superficie, por lo que existen tres soluciones con el uso de pilotes.

- Pilotes de fricción.
- Pilotes de punta.
- Pilotes de control.



En los primeros se debe de tener una gran superficie de contacto, a lo largo del pilote, misma que puede generar una fuerza de fricción capaz de soportar las descargas aplicadas. Una de las características más importantes de estos pilotes es que siguen la consolidación natural del terreno, con lo que la estructura con el paso de los años conserva el mismo nivel que las construcciones aledañas. Al diseñar estos pilotes se debe procurar que las condiciones de terreno no vayan a sufrir modificaciones a futuro, esto es que se pierdan las características friccionantes que sirvieron como premisas para el diseño. Es común que estos pilotes se utilicen en suelos limoarenosos, limoarcillosos o arcilloarenosos y cuyos estratos abarquen una gran profundidad (20 a 30 m).

En los segundos, la capacidad de carga está dada por el apoyo del pilote con el estrato resistente. En estos pilotes es necesario prever el comportamiento del suelo a futuro en cuanto a asentamientos debido a la consolidación del mismo. Este efecto llega a provocar fricción negativa a lo largo del pilote, disminuyendo su capacidad de trabajo. Por lo tanto, para obtener la capacidad real de trabajo, tendrá que restarse la contribución de la fricción negativa de la capacidad admisible por punta del pilote. Este hecho se puede apreciar en algunos monumentos históricos tales como el Monumento a la Revolución o El Angel de la Independencia.

En el tercer tipo de pilotes, se aprovecha la fricción negativa que se transmite, ya que por lo general estos pilotes van asociados a una losa de cimentación la cual al provocar asentamientos, hace que el terreno se "cuelgue" al pilote, dividiéndose de esta forma la descarga vertical en dos elementos de cimentación. Cabe aclarar que los pilotes de control al igual que los de punta, se apoyan en el estrato resistente (capa dura), con la diferencia que la capacidad de trabajo en los de control no se ve disminuida por la fricción negativa. De hecho los pilotes de control pueden absorber los asentamientos del terreno con sólo desplazar los acunamientos en las cabezas de los mismos, obteniéndose de esta forma nivelaciones precisas que permitan a la estructura

mantener la diferencia de alturas con respecto a construcciones aledañas. Esta última circunstancia hace a los pilotes de control el sistema óptimo para recimentaciones.

La diferencia entre las pilas y pilotes, es que las primeras se cuelan en sitio y generalmente se apoyan en el estrato resistente. No así los pilotes, que son prefabricados y en su mayoría presforzados, dividiendo su dosificación en los tres tipos ya descritos (una subclasificación de éstos serían los pilotes telescópicos y los pilotes electromecánicos).

La ventaja que ofrece el presfuerzo es que al ser inducidos esfuerzos de compresión en el pilote, concentran esfuerzos de tensión que resultan del manejo, o los que se provocan durante el envío, izado e hincado de los elementos.

La disponibilidad que existe en el mercado de pilotes permite ofrecer las siguientes secciones:

- Sección cuadrada.
- Sección octagonal.
- Sección circular.
- Sección triangular.
- Sección H.
- Sección I.

Sección cuadrada (37.5 x 37.5 cm)

Área de sección = 1406 cm²

Peso = 337.5 kg/m

Presfuerzo = 6 torones ½"

Equipo para hincado: Pesado.

Capacidad de carga = 192 ton de punta.

Sección circular (47.75 cm diam.)

Área de sección = 1790.8 cm²

Peso = 430 kg/m

Presfuerzo = 11 torones 7/16"

Equipo para hincado: Pesado.

Capacidad de carga = 242 ton de punta.

Sección H (h 40, alma 6 patín 4)

Área de sección = 560 cm²

Peso = 134.5 kg/m

Presfuerzo = 6 alambres 8mm

Equipo para hincado: ligero.

Capacidad de carga = 77 ton de punta.

Sección octagonal (19 cm lado)

Área de sección = 1697.8 cm²

Peso = 407.5 kg/m

Presfuerzo = 11 torones 7/16"

Equipo para hincado: Pesado.

Capacidad de carga = 228 ton de punta.

Sección triangular (50 base 43.3 altura)

Área de sección = 1082.5 cm²

Peso = 260 kg/m

Presfuerzo = 4 torones 1/2"

Equipo para hincado: mediano.

Capacidad de carga = 150 ton de punta.

Sección I (38 h 37 b)

Área de sección = 699 cm²

Peso = 168 kg/m

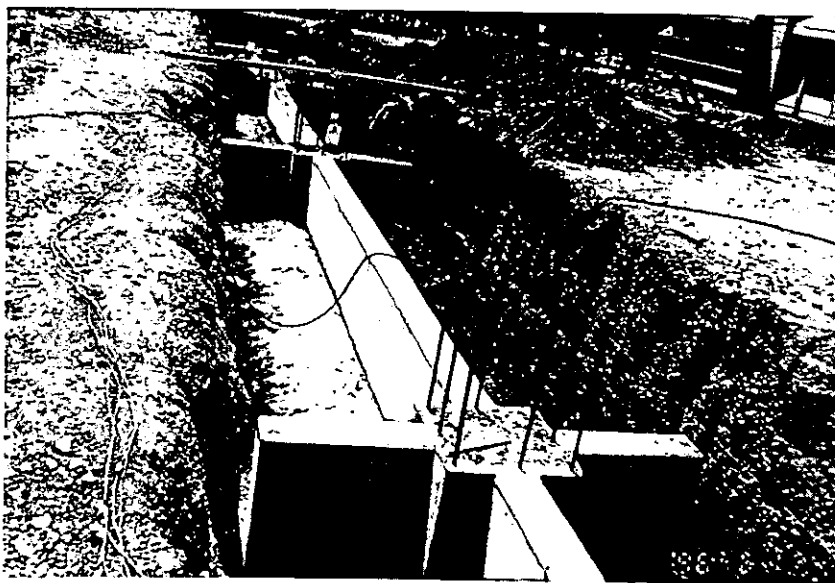
Presfuerzo = 6 alambres de 8 mm

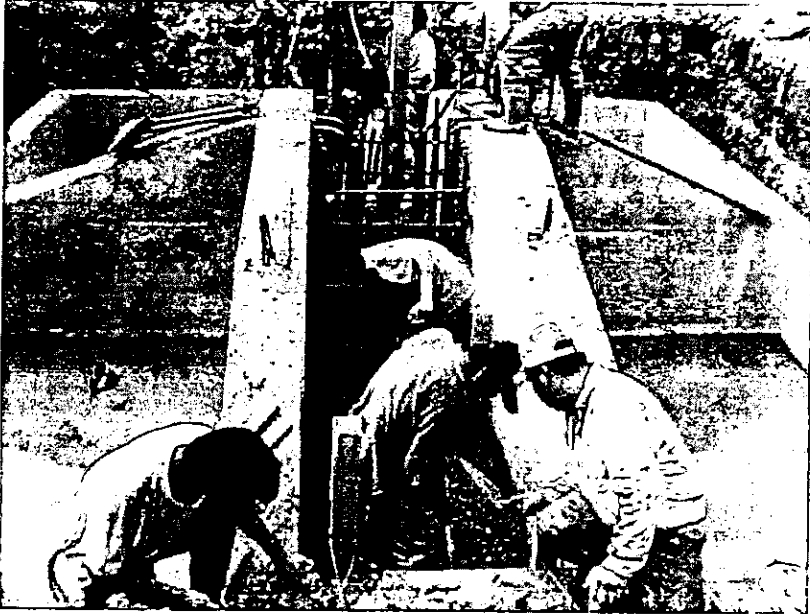
Equipo para hincado: ligero.

Capacidad de carga = 98 ton de punta.

2.1.12 Zapatas.

La fabricación de zapatas y su variedad, depende del proyecto en particular, ya que es posible elaborar zapatas aisladas y corridas, en diferentes secciones, geométricas y dimensiones, dependiendo de las necesidades de la obra.





2.1.13 Durmientes de concreto.

Debido a la escasez de madera en México por la tala inmoderada de bosques y ante la expectativa de importar maderas especializadas para fabricar piezas, o el durmiente de madera ya terminado, se instituyó en el país tanto para el programa de renovación de vías férreas como para la construcción de nuevas vías, el uso de durmientes prefabricados de concreto.

El durmiente de concreto presenta las siguientes ventajas con respecto al de madera:

- Los recursos que se necesitan para fabricarlos son fáciles de conseguir.
- La vida útil del durmiente rebasa los 30 años debido a su alta resistencia a los agentes de la intemperie (lluvia, viento, sol, hielo, erosión, desgaste) y la gran calidad que se logra al construirlos en una planta especializada.
- Su mantenimiento se reduce a las zonas de anclaje con el riel y la reubicación en la vía, mientras que el durmiente de madera es necesario curarlo en forma frecuente con aceite quemado para evitar que la madera se pudra, seque o incendie.
- El concreto con que se fabrican es de muy alta resistencia, siendo el f_c de 500 y 600 kg/cm^2 y sus revenimientos entre 0 y 2 cm según el diseño y la planta que los produzca.
- Resisten en su versión monoblock, una vía férrea electrificada en donde se corren velocidades de hasta 140 km/hr .
- En cuanto al costo, es apenas un 25% mayor que un durmiente de madera, y se obtiene una mayor vida útil y un menor mantenimiento.

CAPÍTULO 3

RECOMENDACIONES DE DISEÑO.

En este capítulo, se pretende dar recomendaciones generales de diseño y construcción de elementos presforzados, así como de los materiales utilizados para su elaboración, a manera de guía con el fin de lograr un buen desempeño estructural.

3.1 DISEÑO.

3.1.1 Consideraciones generales.

El fin del diseño, es el de obtener una estructura, que su construcción sea lo más económico posible, que cumpla con las necesidades para las cuales fue proyectada y sobre todo que sea segura y soporte adecuadamente las condiciones de servicio para las cuales fue diseñada.

Modo de falla.

Es preferible, que la resistencia máxima se determine por la elongación del acero de presfuerzo y no por el esfuerzo cortante, la adherencia o la compresión del concreto.

Teoría de diseño.

La teoría de la elástica debe de ser empleada con esfuerzos internos limitados a los valores recomendados. La teoría de resistencia máxima se debe aplicar para asegurar que la capacidad máxima esté dentro de los factores de carga recomendados.

3.1.2 Consideraciones especiales.

Condiciones de carga.

Para el diseño, es necesario considerar todas las cargas y esfuerzos a los que será sometido el elemento, tales como el desmolde, flete, montaje y servicio.

Deflexiones.

La contraflecha y deflexiones, que se presenten en los elementos podrían ser limitaciones en el diseño y es necesario conocer sus repercusiones a corto y largo plazo.

Cambios de longitud.

Al igual que las deflexiones, los cambios de longitud del concreto debido al presfuerzo deben de ser considerados.

3.1.3 Suposiciones de diseño.

Para propósitos de diseño, se pueden realizar las siguientes suposiciones.

Suposiciones básicas:

- La deformación varía en forma rectilínea sobre el peralte del elemento a través de todo el radio de acción de la carga total.
- Antes de producirse fisuras, el esfuerzo es linealmente proporcional a la deformación.
- Después de producirse fisuras, la tensión en el concreto es ignorada.

Módulo de elasticidad.

Cuando no son disponibles los valores precisos para los módulos de elasticidad, los siguientes valores pueden ser utilizados como guía.

- El módulo de elasticidad del concreto (E_c), puede suponerse que es de $126,818 \text{ kg/cm}^2$ más 500 veces la resistencia del cilindro con la edad considerada.
- El módulo de elasticidad del acero (E_s), puede suponerse que es de $2,043,185 \text{ kg/cm}^2$ para alambres estirados en frío y de $1,902,976 \text{ kg/cm}^2$ para trenzados de 7 alambres.

Deflexiones.

La deflexión o contraflecha producidas por cargas de corto plazo, puede ser calculada utilizando los valores de E_c .

La deflexión a consecuencia del peso propio, el presfuerzo y cargas vivas sostenidas por largo tiempo, se puede calcular suponiendo que la deformación del concreto se incrementará debido al escurrimiento plástico.

3.1.4 Etapas de carga.

A continuación se hace referencia a las cargas que afectan el diseño:

Presforzado inicial.

Los empujes de presforzado son aplicados en una secuencia predeterminedada y en algunas ocasiones por etapas. Si los empujes debidos al presfuerzo no se contrarrestan con el peso propio del elemento, entonces deben de ser analizados cuidadosamente los esfuerzos producidos en el concreto, producto de dichos empujes, para tomar las precauciones adecuadas.

Presforzado inicial más el peso propio del elemento.

Para determinar los esfuerzos en esta etapa, las pérdidas en el presforzado son las que ocurren durante e inmediatamente después, de la transferencia del presforzado.

Flete y montaje.

Los puntos donde se apoyarán los elementos durante el flete, pueden ser diferentes a los que utilizarán una vez que se haya montado el elemento en la estructura, por lo tanto es necesario tomar en cuenta los esfuerzos que se producirán durante el flete y manejo del elemento.

Carga de diseño.

Esta etapa incluye al esfuerzo provocado por el presforzado efectivo después de las pérdidas, pesos propios y el máximo de cargas vivas especificadas.

Sobrecarga temporal.

Esta etapa se refiere a cualquier carga viva que sobrepase a la carga de diseño, que es de corta duración y se espera que no ocurra con frecuencia durante la vida de la estructura. Para tal carga, los esfuerzos pueden exceder a los de diseño, pero debe asegurarse una recuperación plástica.

Carga máxima.

La carga máxima es aquella que al aplicarse estáticamente causa una falla en la estructura. Tal carga, no debe de presentarse nunca en la estructura, pero debe considerarse como una medida de seguridad. En estructuras isostáticas, las fallas o falla ocurrirán en una sola sección transversal. En estructuras hiperestáticas, la carga que causa que el momento alcance su máximo valor en una sección, puede no ser suficiente para provocar una falla de la estructura, porque existe una redistribución de momentos. Y dado que no siempre es posible estar seguros de que una redistribución total ocurrirá de acuerdo con el límite del diseño, se sugiere que los momentos sean determinados por medio del análisis elástico.

3.1.5 Factores de carga.

Un factor de carga es un múltiplo de las cargas de diseño, que se utiliza para tener un margen de seguridad en la estructura.

Factores de carga fisuramiento.

Cuando no se quiere que se presenten fisuras en el concreto, se emplean factores para soportar la mayor carga posible que se podría presentar durante la vida útil de la estructura.

Máximos factores de carga.

La capacidad de carga se calcula teniendo en cuenta que los esfuerzos no son linealmente proporcionales a las fuerzas externas y momentos a través de todo el alcance de la carga. Por lo tanto los momentos, esfuerzos cortantes y coceos producidos por cargas externas y empujes del presforzado deben de ser analizados por el método elástico.

Edificios.

En el caso de los edificios, se recomienda que la máxima capacidad de carga cumpla con las siguientes condiciones:

$$1.2D + 2.4L$$

$$1.8 (D + L)$$

$$1.2D + 2.4L + 0.6W$$

$$1.2D + 0.6L + 2.4W$$

$$1.8 (D + L + W/2)$$

$$1.8 (D + L/2 + W)$$

Cualquiera de ellos sea mayor.

Donde:

D – Peso propio.

L – Efecto de la carga viva.

W – Efecto del empuje del viento, sismo o cargas de tracción.

3.1.6 Cargas de repetición.

La resistencia máxima del concreto o acero bajo cargas repetidas, puede ser menor que la resistencia estática debida al fenómeno de fatiga. La falla por fatiga puede presentarse en el concreto, acero, anclajes, juntas o en la adherencia.

Concreto.

La resistencia del concreto a la fatiga, tanto en tensión como en compresión, depende de la magnitud del esfuerzo, variación del esfuerzo y el número de ciclos de carga. Dado que los esfuerzos de magnitud alta y los alcances de esfuerzo se presentan comúnmente, la fatiga se debe de considerar cuando ocurre una repetición de ciclos de carga.

Acero de presfuerzo.

La resistencia a la fatiga del acero de presfuerzo depende de la magnitud y alcance del esfuerzo, así como del número de ciclos de carga. Un mínimo de esfuerzo significa un presforzado efectivo. Un máximo de esfuerzo y su alcance dependen de la magnitud de las cargas vivas o sobrecargas que puedan ser repetidas. El alcance del esfuerzo bajo la influencia de cargas de servicio, generalmente será pequeño a no ser que el concreto esté fisurado. El fisuramiento puede aparecer si se permite tensión en el concreto.

Anclajes.

Si el acero se encuentra perfectamente adherido, no se deben presentar dificultades en el anclaje o en el extremo de apoyo como resultado de cargas repetidas. Con una adherencia del acero deficiente, las fluctuaciones en el esfuerzo debidas a la repetición de servicio se transmiten directamente a los anclajes y la resistencia a la fatiga en los anclajes deberá ser estudiada cuidadosamente.

Adherencia.

Es rara la falla por adherencia bajo cargas repetitivas, a menos que el elemento esté fisurado debido a las cargas de diseño o una significativa repetición de sobrecargas.

Esfuerzo cortante y tensión diagonal.

Debido a que se pueden desarrollar fisuras diagonales, a consecuencia de un cargado repetitivo con esfuerzos menores que bajo una carga elástica, siempre se debe prever un armado de trabazón en elementos sujetos a cargas de repetición.

Recomendaciones de diseño.

La fatiga no se debe convertir en una reducción de la resistencia si se siguen las siguientes recomendaciones:

- El esfuerzo flexional a la compresión del concreto no debe exceder de $0.4 f_c$ ya sea bajo la carga de diseño o una sobrecarga repetida.
- No se debe permitir tensión en el concreto en la sección transversal crítica ya sea bajo la carga de diseño o sobrecargas que pueden ser repetidas.
- La inversión de esfuerzo no debe ocurrir bajo cargas repetitivas.
- El acero de presfuerzo debe estar adherido.

3.1.7 Refuerzos permisibles en el acero y el concreto.

Acero de presfuerzo.

Bajo cargas normales de diseño, los esfuerzos en el acero de presfuerzo serán casi siempre menores que los esfuerzos en el presforzado inicial. El esfuerzo en el anclaje, una vez que el asentamiento ha sido efectuado, no debe exceder de un $0.7 f_s$. Un sobreesfuerzo de corta duración hasta de $0.8 f_s$ puede ser permitido, siempre y cuando el esfuerzo, después de que haya ocurrido el asentamiento del anclaje no exceda de $0.7 f_s$.

Esfuerzo con cargas de diseño. El esfuerzo efectivo del acero, no debe exceder de: $0.6 f_s$ ó $0.8 f_{sy}$. Cualquiera que sea el más pequeño.

Armado no presforzado.

Al acero de refuerzo diseñado para resistir la tensión puede aplicarse un esfuerzo de 1409 kg/cm^2 .

Concreto.

Esfuerzos temporales.

El esfuerzo del concreto en kgsi antes de las pérdidas debidas al escurrimiento plástico y a la contracción, no debe exceder de:

Compresión: $0.60f_c$

Tensión para elementos con armado no presforzado:

Elemento sencillo: $3\sqrt{f_c}$

Elemento segmental: cero

Para elementos con armado no presforzados diseñados para resistir el empuje tensional en el concreto, calculado sobre la base de una sección no fisurada.

Elemento sencillo: $6\sqrt{f_c}$

Elemento segmental: $3\sqrt{f_c}$

Esfuerzo en cargas de diseño.

- Después de las pérdidas de presfuerzo total, los esfuerzos en kg/si no deben exceder de:

Compresión en elemento sencillo:

Elementos en puentes: $0.40f_c$

Elementos en edificios: $0.45f_c$

Compresión en elementos segmentales:

Elementos en puentes: $0.40f_c$

Elementos en edificios: $0.45f_c$

Tensión flexional en la zona de tensión precomprimida.

Elementos sencillos:

Elementos en puentes: cero

Elementos de edificios pretensados: $6\sqrt{f_c}$

Elementos segmentales:

Elementos en puentes: cero

Elementos en edificios: cero

Esfuerzo con carga de fisuramiento.

La resistencia tensional-flexional (módulo de ruptura) debe preferentemente determinarse por prueba. En caso contrario, el máximo esfuerzo tensional-flexional puede suponerse como:

$$F't = 7.5\sqrt{f_c}$$

3.1.8 Pérdida de presforzado.

El presforzado inicial es el esfuerzo en el acero, que se transmite gracias a la adherencia del concreto y el acero, la cual produce compresión interna en el elemento. El esfuerzo disminuye con el tiempo y, finalmente, alcanza una condición estable de presforzado efectivo, la cual se supone permanente. Las principales causas de pérdida de presforzado son:

Acortamiento elástico del concreto.

Esta pérdida es igual a $n(\Delta f_c)$. Para concreto pretensado, Δf_c es el esfuerzo del concreto en el centro de gravedad del acero de presforzado para el cual las pérdidas están siendo calculadas.

Contracción del concreto.

La contracción del concreto depende de muchas variables. La unidad de deformación en la contracción puede variar de cerca de 0 a 0.0005. La pérdida por contracción puede llegar a ser mayor en elementos pretensados donde el presfuerzo es transferido al concreto en un plazo más corto que en los elementos postensados.

Esguerrimiento plástiko del concreto.

El esguerrimiento plástiko es la deformación del concreto que depende del tiempo y es provocada por el esfuerso. Para elementos adheridos pretensados, el esfuerso del concreto es tomado en el centro de gravedad del acero de presfuerzo bajo el efecto del presfuerzo y cargas permanentes (condiciones normales de la estructura no cargada)

Relajamiento del esfuerso del acero.

La pérdida de esfuerso debida al relajamiento del acero de presfuerzo debe ser prevista en el diseño, de acuerdo con los datos de prueba proporcionados por el fabricante de acero. La pérdida debida al relajamiento depende básicamente a las propiedades del acero de presfuerzo. Esta pérdida generalmente se supone entre un 2 a un 8 % del esfuerso inicial del acero.

Un método para calcular las pérdidas de presfuerzo es:

$$\Delta f_s = (u_s + u_e + u_d) E_s + \delta_1 f_{si} + \delta_2 f_{si}$$

Donde:

Δf_s = Pérdida de presfuerzo.

u_s = Deformación en el concreto debido a la construcción.

u_e = Deformación en el concreto debido al acortamiento elástico.

u_d = Deformación en el concreto debido al esguerrimiento plástiko.

E_s = Módulo de elasticidad del acero de presfuerzo.

δ_1 = Relación de pérdida en el esfuerso debido al relajamiento del acero de presfuerzo.

δ_2 = Relación de pérdida en el esfuerzo, debida a la fricción durante el presforzado.

f_{si} = Esfuerzo inicial en el acero de presfuerzo después de la transmisión del esfuerzo.

3.1.9 Flexión.

Secciones rectangulares.

Para secciones rectangulares o secciones con patín, en las que el eje neutro se encuentra dentro del ala, la máxima resistencia flexional puede expresarse como:

$$M_u = A_s f_{su} d [1 - (k_2 p f_{su}) / (k_1 k_3 f_c)]$$

Donde:

f_{su} = esfuerzo promedio en el armado de presforzado bajo carga máxima.

d = profundidad del centroide de fuerza

k_2 = relación de la distancia entre la fibra más alejada de compresión y el centro de compresión hasta la profundidad del eje neutro.

k_1, k_3 = relación del esfuerzo promedio de compresión en el concreto, a la resistencia del cilindro f_c .

El factor $k_2 / (k_1 k_3)$ puede tomarse como igual a 0.6 para elementos presforzados. La determinación del valor f_{su} requiere el conocimiento de las características esfuerzo-deformación del acero de presfuerzo, del presfuerzo efectivo y de la deformación en la compresión del concreto.

Secciones con patín.

Si el espesor del patín es menor de $1.4 d p f_{su} / f_c$, el eje neutro generalmente se desplazará fuera del patín, para determinar el momento máximo.

$$M_u = A_{sr} f_{su} d [1 - 0.6(A_{sr} f_{su}) / b' d f_c] + 0.85 f_c (b - b') t (d - 0.5t)$$

Donde:

$A_{sr} = A_s - A_{sf}$ = el área de acero requerida para desarrollar la máxima resistencia a la compresión del nervio de la sección con patín.

$A_{sf} = 0.85 f_c (b - b') t / f_u$ = el área de acero requerida para desarrollar la máxima resistencia a la compresión de las porciones voladas del patín.

t = espesor promedio del patín.

Porcentaje máximo de acero.

Con el fin de evitar el sobreamado en vigas, donde la máxima resistencia flexional depende de la resistencia del concreto, la relación del acero de presfuerzo debe de ser preferentemente que $p f_{su} / f_c$ para secciones rectangulares, y $A_{sr} f_{su} / b' d f_c$ para secciones con patín, no sean mayores de 0.3.

3.1.10 Esfuerzo cortante.**Resistencia máxima.**

Es esencial que la falla por esfuerzo cortante no ocurra antes de que la máxima resistencia flexional se haya desarrollado.

Fisuramiento inclinado.

La formación de fisuras inclinadas se presenta antes que la falla por esfuerzo cortante. Son causadas por esfuerzos de tensión principales inclinados, que son resultado de esfuerzos de corte y esfuerzos normales de flexión. El presfuerzo compresivo reduce el principal esfuerzo tensional, de ahí que aumente la carga necesaria para provocar fisuras inclinadas. El empleo de elementos delgados incrementará los esfuerzos inclinados.

Condiciones de falla por esfuerzo cortante.

La resistencia a la formación de grietas inclinadas es mayor con un presfuerzo más grande y un incremento del espesor del nervio. Si ocurren fisuras inclinadas en un nervio sin armar, es casi segura la falla por esfuerzo cortante. Si se refuerza adecuadamente al nervio, se puede desarrollar una máxima resistencia flexional.

Refuerzo de nervios.**Porcentaje crítico de acero tensional.**

Las fisuras de tensión inclinada no se formarán y no habrá necesidad del armado de nervio si la siguiente condición se cumple:

$$P_f s / f_c \leq (f_{se} b' / f_s b) 0.3$$

Donde:

b' = espesor del nervio.

b = ancho del patín correspondiente al usado en el cálculo de p .

Diseño del refuerzo de nervios.

La cantidad de armado en el nervio que se necesita para soportar la flexión máxima, está en función de la diferencia entre la carga de fisuramiento inclinado y la máxima carga en flexión. Esta diferencia es una función del empuje de presfuerzo, el espesor del nervio, la cantidad de esfuerzo tensional y

la relación corte / momento, pero es generalmente menor cuando se trata del concreto presforzado, en comparación del concreto armado convencional. Los procedimientos normales de diseño, para el refuerzo en el nervio utilizando concreto armado, son conservadores cuando se emplea concreto presforzado.

Secciones críticas para esfuerzo cortante.

Debido a que la formación de fisuras inclinadas reduce la capacidad flexional, las secciones críticas para esfuerzo cortante usualmente no deben estar cerca de los extremos del claro, donde el esfuerzo cortante es máximo, sino en alguna parte lejos de los extremos en la región de momentos mayores.

Para el diseño de refuerzo de nervio en elementos simplemente apoyados que soportan cargas dinámicas, se recomienda que el esfuerzo cortante sea analizado solamente dentro de la mitad al centro de la longitud del claro. El armado de nervio requerido en los puntos cuartos debe entonces emplearse a través de las cuartas partes exteriores del claro.

Para elementos simplemente apoyados que soportan cargas uniformemente distribuidas, el máximo armado de nervio debe ser tomado como aquel requerido para una distancia desde el apoyo, igual al peralte del elemento. Esta cantidad de refuerzo del nervio debe ser proporcionada desde el punto hasta el extremo final del elemento. En el tercio medio de la longitud del claro, la cantidad de armado de nervio no debe ser menor que aquella requerida en los puntos tercios del claro.

3.1.11 Adherencia y anclaje.

Transferencia del presfuerzo por adherencia.

La adherencia entre el acero pretensado y el concreto es indispensable, es la que permite que sea posible presforzar un elemento de concreto. La transferencia del esfuerzo del acero se realiza en una longitud finita en la

región externa de un elemento. El empuje del presfuerzo varía de cerca de cero en el extremo, hasta un valor máximo a cierta distancia del extremo.

La longitud de transporte será generalmente significativamente menor en los elementos largos, pero debe ser considerada para elementos cortos o en aquellos en que las condiciones de carga pueden causar un fisuramiento en o cerca de la región de transferencia de presfuerzo.

Los factores que afectan la adherencia son la resistencia del concreto, forma del perímetro, esfuerzo en el acero a su máxima resistencia, longitud de la zona de transferencia y el patrón de cargado superpuesto.

3.1.12 Construcción compuesta.

Las estructuras de construcción compuesta son aquellas que se forman a base de elementos de concreto presforzado, y por elementos de concreto simple o armado, que van interconectados de tal manera que funcionan como una unidad integral.

Unión para esfuerzo cortante.

Para asegurar la acción integral de una estructura compuesta bajo todas las cargas, debe estar provista de uniones capaces de cumplir con las siguientes funciones:

- Transferir el esfuerzo cortante sin deslizamiento a lo largo de las superficies de contacto.
- Prevenir la separación de los elementos en una dirección perpendicular a las superficies de contacto.

Transporte del esfuerzo cortante.

El deslizamiento puede ser evitado y el esfuerzo cortante transferido a lo largo de las superficies de contacto, ya sea por adherencia o por dentados de corte. Debe asumirse que el esfuerzo cortante total es transportado ya sea por adherencia o por machimbrados de corte.

Anclajes contra separación.

Se deben proporcionar anclajes mecánicos en forma de ligas verticales para prevenir la separación de los elementos componentes en la dirección perpendicular a las superficies de contacto. El refuerzo de nervio o barras de trabazón adecuadamente ahogadas sobre cada lado de la superficie de contacto, proporcionará un anclaje mecánico adecuado.

3.1.13 Recubrimiento y espaciamiento del acero de presfuerzo.**Recubrimiento.**

Los siguientes recubrimientos mínimos de concreto son recomendados para el acero de presfuerzo y acero sin presforzar.

	Recubrimiento mínimo (cm)
Superficies de concreto expuestas a la intemperie.	3.81 cm
Superficies de concreto en contacto con el terreno	5.08 cm
Vigas y vigas maestras no expuestas a la intemperie.	3.81 cm
Acero de presfuerzo, armado principal de acero	3.81 cm
Estribos y amarres	2.54 cm
Losas y vigas pequeñas no expuestas a la intemperie	1.91 cm

Espaciamiento del acero de presfuerzo.

El mínimo espaciamiento horizontal y vertical libre, entre los elementos de acero de pretensado en los extremos de los elementos, debe ser tres veces el diámetro del acero o $1 \frac{1}{3}$ veces el máximo tamaño del agregado grueso, cualquiera de los dos que sea mayor.

3.2 MATERIALES.

Debido a que el concreto presforzado debe de sostener altos esfuerzos con un mínimo de cambio en el esfuerzo y deformación, así como las características particulares de su fabricación, donde se somete a esfuerzos adicionales a los de servicio, tales como: los de desmolde, transportación y montaje, se requiere para su fabricación, el empleo de materiales de alta resistencia.

3.2.1 Concreto.

Debe darse particular atención a las propiedades de los materiales individuales utilizados en el concreto presforzado y su efecto en la resistencia compresiva, módulo de elasticidad, contracción al secado, escurrimiento plástico, resistencia de la adherencia y la uniformidad del concreto ya colocado.

Cemento Portland.

El cemento Portland debe ajustarse a una de las siguientes especificaciones:

- Cemento Portland (ASTM C 150)
- Cemento Portland de arrastre de aire (ASTM C 175)
- Cemento Portland de escorias de alto horno (ASTM C 205)
- Cemento Portland puzolánico (ASTM C 340)

Agregados de concreto.

Los agregados de concreto deben ajustarse a las siguientes especificaciones:

- Agregados de concreto (ASTM C 33)
- Agregados ligeros de concreto estructural (ASTM C 330)

La composición mineral y solidez de los agregados puede tener una marcada influencia sobre la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la contracción al secado y el escurrimiento plástico.

Agua.

El agua para mezclar el concreto debe estar limpia y libre de sustancias perjudiciales al concreto o al acero presforzado.

Aditivos.

Ciertos aditivos pueden ser útiles para acelerar o retardar el endurecimiento del concreto. Sin embargo, los aditivos no deben de ser usados hasta que se pruebe que no tienen efectos nocivos sobre el concreto o el acero.

El empleo de cloruro de calcio o un aditivo que lo contenga no es recomendable cuando esté en contacto con el acero de presfuerzo.

Proporcionado, dosificado y mezclado.

La proporción de materiales, la dosificación y el mezclado de concreto presforzado, debe de hacerse de acuerdo al Manual de Inspección del Concreto del ACI.

Los materiales disponibles deben de estar proporcionados para producir un concreto que cumpla con las especificaciones requeridas, con un contenido mínimo de agua. El revenimiento del concreto fresco debe ser el menor posible. El cemento, arena y tipos de agregado grueso de tamaño reducido, deben de ser dosificados separadamente por peso. El agua y algunos aditivos líquidos

deben de ser dosificados por volumen. Es esencial el control minucioso de todos los materiales y operaciones.

3.2.2 Acero de presfuerzo.

Se requiere de acero de alta resistencia a la tensión para fabricar el concreto presforzado, para transferir los esfuerzos internos necesarios al concreto. Los siguientes cuatro tipos son los más comunes:

- Alambre sencillo de alta resistencia a la tensión.
- Trenzado de alta resistencia de diámetro pequeño, fabricado en taller; generalmente se compone de 6 alambres trenzados en espiral alrededor de un alambre central que sirve como núcleo.
- Trenzado de alta resistencia de diámetro grande, generalmente fabricado en taller tiene 7, 19, 37 o más alambres trenzados en diversas configuraciones.
- Las barras de aleación de acero de alta resistencia son producidas mediante un proceso de estirado en frío. Se encuentran disponibles en diámetros de 1.27 hasta 2.86 cm de diámetro.

Alambre sencillo de alta resistencia a la tensión.

Es producido con acero de alto carbón laminado, en caliente, en varillas. Después, es tratado en calor, con un proceso llamado "recocido especial" y luego es estirado en frío para proporcionar la resistencia a la tensión requerida.

Alambre trenzado de alta resistencia, de diámetro pequeño.

El trenzado de alta resistencia de diámetro pequeño está normalmente compuesto de siete alambres. Un alambre central rectilíneo, envuelto por seis alambres enrollados en espiral a su alrededor.

Alambre trenzado de alta resistencia, de diámetro grande.

Los trenzados mayores pueden estar compuestos por 7, 19, 37 o más alambres estirados en duro, galvanizados o sin revestimiento, enrollados en espiral.

Barras de aleación de acero de alta resistencia.

Las barras generalmente están hechas de acero de aleación según las normas: AISI 5160 ó AISI 9260. Después de laminarse, son tratadas con calor. Cada varilla es estirada en frío hasta que tienen un 90 % de la resistencia máxima especificada.

ESTÁ
EN
LA
BIBLIOTECA
DE
LA
UNIVERSIDAD
DE
BOGOTÁ

3.3 CONSTRUCCIÓN.

La calidad de los elementos de concreto presforzados, depende en gran medida de los cuidados que se tengan y los controles para asegurar un proceso correcto y eficiente en todas sus etapas. Por lo tanto, es recomendable seguir las siguientes indicaciones:

3.3.1 Colado.

Es necesario un bajo revenimiento en las mezclas, lo cual repercute en un alto contenido de cemento, por lo tanto deben de ser vaciadas en el menor tiempo posible una vez que el mezclado se ha completado, para evitar la pérdida de manejabilidad.

El concreto debe de ser colocado cerca de su posición final. El método de vaciado debe ser tal que no ocurra segregación de los agregados.

3.3.2 Vibrado.

La vibración interna o externa, o ambas son generalmente necesarias para producir un concreto denso y bien compactado.

Los vibradores no deben de emplearse para mover el concreto, debe de evitarse el sobre vibrado.

La vibración no es un sustituto para la manejabilidad. Se debe de especificar el revenimiento adecuado y deben de ser empleados métodos aprobados de vibrado para asegurar una máxima compactación.

3.3.3 Curado.

El curado debe iniciarse una vez que se ha terminado de colar. El curado debe de continuar hasta que se alcance la resistencia requerida para poder realizar la transferencia del presfuerzo. El secado rápido debe de ser evitado hasta que la resistencia final de diseño se obtenga.

Cuando se emplea un curado a alta temperatura, la relación de calentamiento y enfriamiento debe de ser controlada para reducir el impacto térmico en el concreto.

En donde sean necesarios elementos precolados idénticos, las condiciones de curado deben de ser uniformes para mantener el control de calidad especificado.

3.3.4 Acero de presfuerzo.

El acero debe de ser mantenido limpio y seco. Debe de estar libre de materia extraña, grasa, aceite, pintura y oxido suelto.

Medición del presfuerzo.

El empuje del presfuerzo debe de ser determinado al medir la elongación y revisar la presión en el gato con una escala calibrada. Cuando existe una diferencia de más de 5% entre el esfuerzo del acero determinado por la elongación y determinado por la escala, la causa de la discrepancia debe de ser averiguada y corregida.

Transferencia del presfuerzo al concreto.

El empuje en el acero de presfuerzo debe de ser transferido al concreto de una manera suave y gradual. Si la fuerza en los alambres presforzados es transferida individualmente, una secuencia de liberación debe ser establecida por el calculista para evitar que el elemento quede sujeto a esfuerzos no previstos.

CAPÍTULO 4

FABRICACIÓN, FLETE Y MONTAJE.

4.1 FABRICACIÓN.

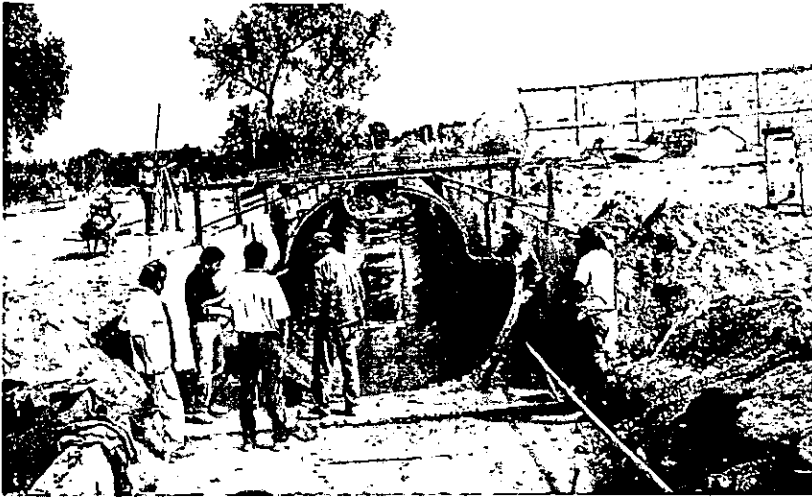
Una vez que se ha terminado el diseño y cálculo de la estructura a fabricar, se dibujan los planos de armados, geometrías, presfuerzo y accesorios, así como los de despiece de elementos, de montaje, detalles de conexiones y armados de continuidad.

Ya que se tienen todos estos planos, se mandan a la planta, para que con ellos se pueda iniciar el proceso de fabricación, el cual esta compuesto por las siguientes etapas:

4.1.1 Fabricación de moldes.

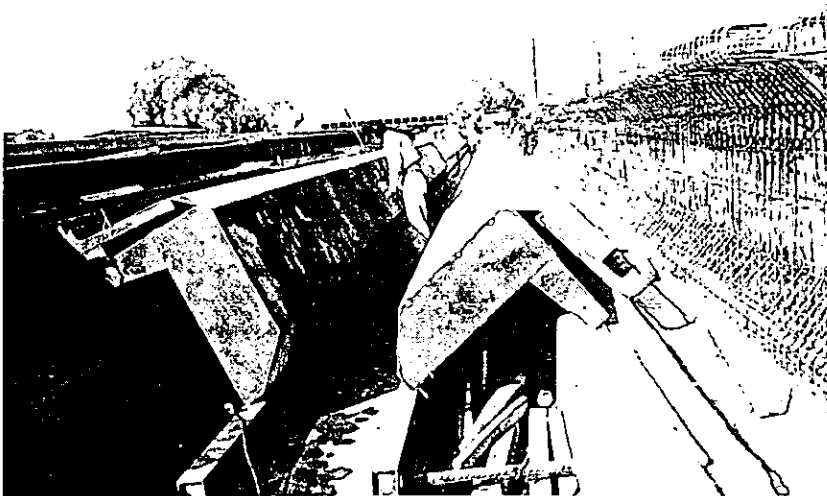
La producción de los elementos prefabricados comienza con la elaboración de los moldes, en el caso de que no tengan las características requeridas para fabricar dichos elementos, en algunas ocasiones es posible hacer ajustes y adecuaciones a moldes existentes para obtener diferentes secciones y geometrías.

Si se elaboran moldes nuevos, el material de los mismos varía dependiendo del elemento que se pretenda fabricar, así como del presupuesto que se disponga. Los materiales que se utilizan pueden ser: placa de acero, madera, fibra de vidrio, concreto, etc.



4.1.2 Limpieza del molde.

La limpieza consiste simplemente en retirar el escombro que haya podido quedar del colado anterior y pasarle carda para retirar el material adherido como puntos de soldadura.

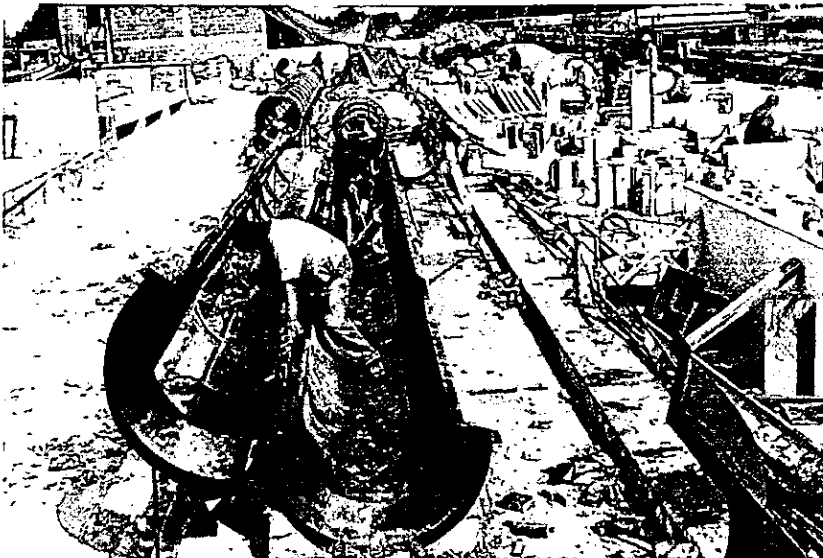


4.1.3 Trazo de la pieza.

En esta etapa, se marca en el molde la geometría del elemento a fabricar, para ajustarlo a las medidas que marca el proyecto, esto se realiza, mediante la colocación de fronteras y tapas necesarias para el colado, hechas con ángulo, placa o madera.

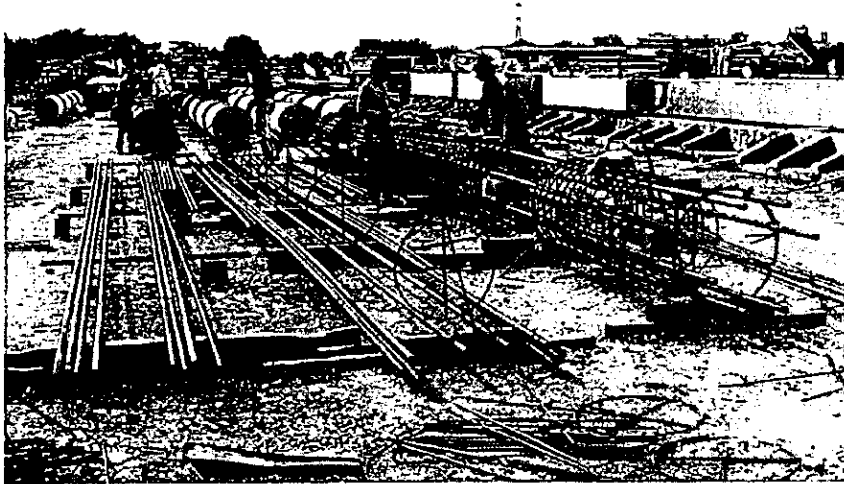
4.1.4 Aplicación del desmoldante.

Consiste en aplicar desmoldante líquido en la superficie del molde, que estará en contacto con el concreto, por medio de un aspersor o estopa, con el fin de facilitar el descimbrado del elemento.



4.1.5 Habilitado, soldado y armado de acero de refuerzo.

Con ayuda de una dobladora automática, se habilita el acero de refuerzo con mayor precisión y velocidad, se colocan estribos y acero de continuidad y se bulbea.

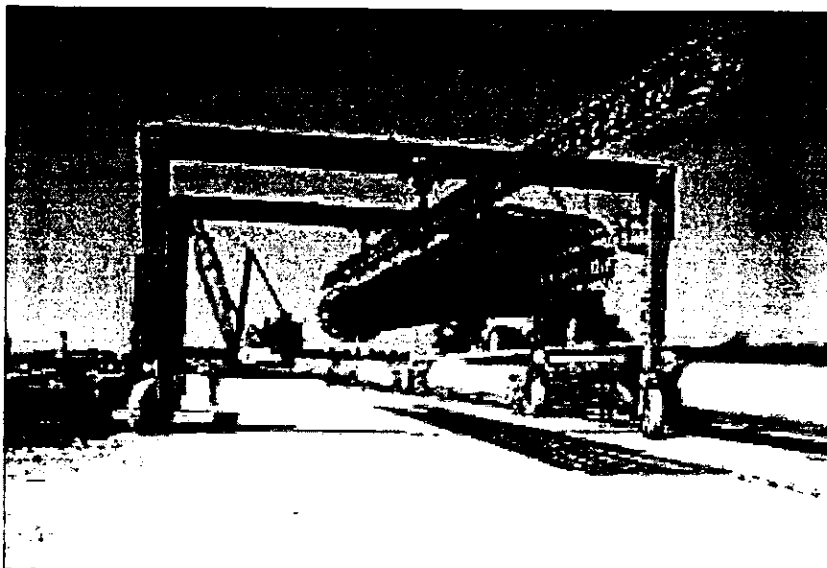


4.1.6 Fabricación de accesorios.

Se realizan en el taller de estructura metálica, por personal calificado y posteriormente son colocados junto con el armado, en su posición exacta, según el proyecto.

4.1.7 Colocación del armado en el molde.

Una vez que se tiene el armado del elemento, se coloca dentro del molde con ayuda de una grúa Drott de 30 toneladas de capacidad, o de manera manual, si es que el peso del acero de refuerzo lo permite.

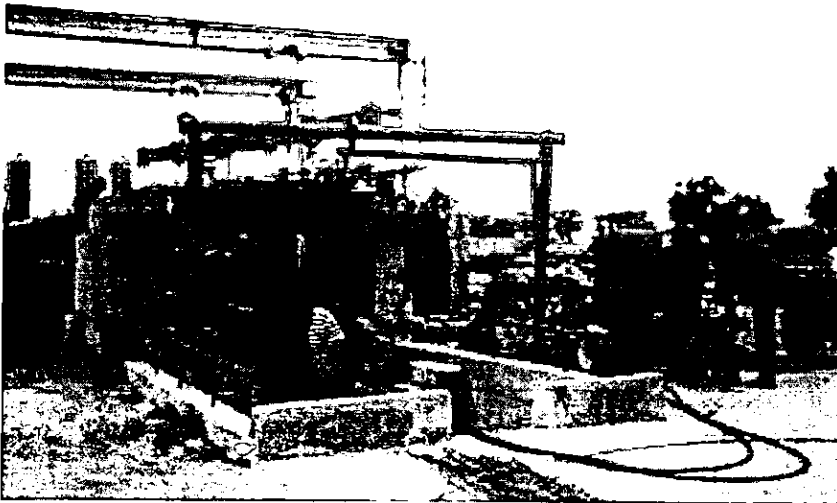


4.1.8 Tendido de tendones de presfuerzo.

Con el armado dentro del molde, se colocan los tendones de presfuerzo (alambres o torones) de acuerdo a la posición y especificación del proyecto.

4.1.9 Tensado de cables y colocación de ganchos de izaje.

Se tensan los cables de presfuerzo con un gato hidráulico, revisando las deformaciones del cable con la gráfica de esfuerzo deformación, una vez que se aplica el esfuerzo de proyecto, se colocan las cuñas y los ganchos de izaje, cuidando de que queden en la posición correcta.

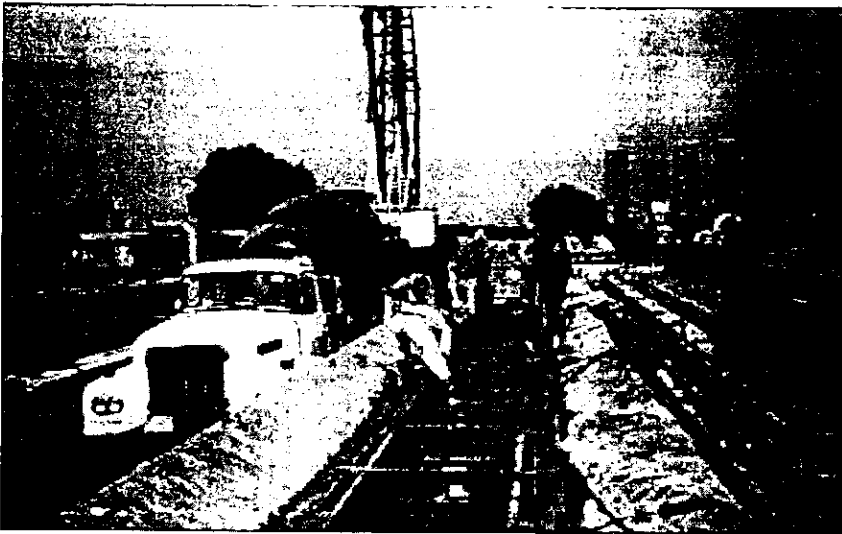


4.1.10 Detallado de fronteras.

Consiste en afinar la colocación definitiva de las fronteras y sujeción para evitar cualquier movimiento, respetando la geometría del elemento.

4.1.11 Colado y vibrado.

La dosificación y mezclado del concreto se realiza con la planta dosificadora ELBA – 30 y el transporte del concreto a los moldes, utilizando 2 camiones mezcladores con capacidad de 6 m³ cada uno, descargando directamente en el molde, al mismo tiempo que se aplican los vibradores de inmersión para compactar el concreto, además se utiliza un aditivo superfluidificante para facilitar su manejabilidad y colocación en el molde.

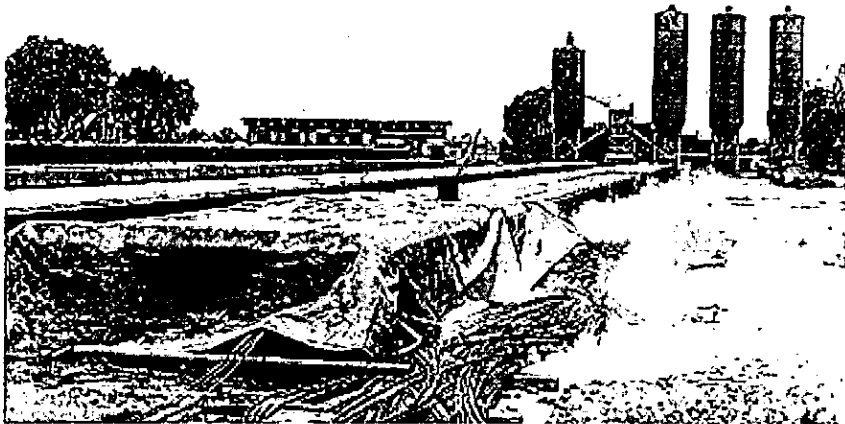


4.1.12 Precurado.

Comprendido entre el final del colado y el curado a vapor, esto se debe a que es necesario esperar que pasen los efectos de los aditivos superfluidificantes, que contrarrestarían el efecto del vapor.

4.1.13 Curado a vapor.

Se forma una cámara de vapor colocando una lona sobre el molde y se le inyecta vapor hasta alcanzar una temperatura de 70°C con un gradiente de 2 hrs. y se mantendrá esta temperatura máxima durante un lapso de 4 hrs. aproximadamente. Al suspender la aplicación de vapor, es conveniente que se tenga el mismo gradiente de temperatura, que se utilizó para elevarla, para evitar grietas en el elemento.



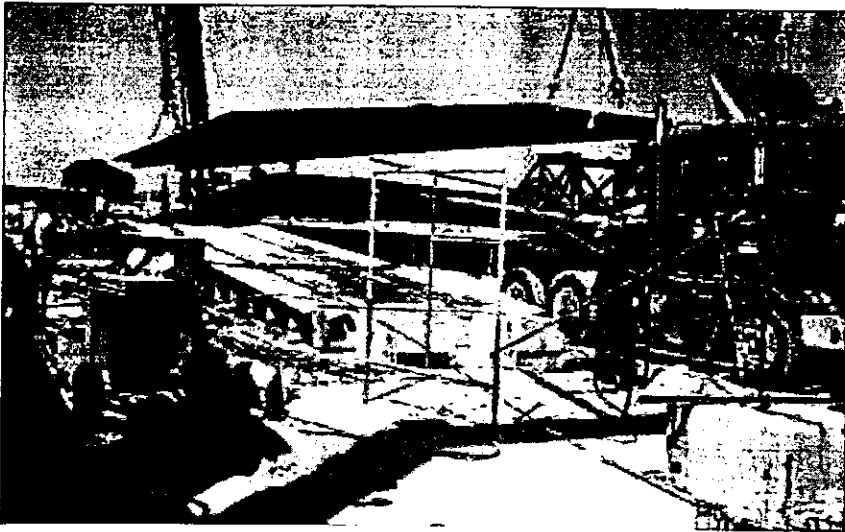
4.1.14 Transferencia del presfuerzo.

Se procede al corte de los tendones, para que el elemento quede presforzado, después de que se ha verificado que el elemento cuenta con la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos (80% de f_c). Lo cual se verifica, probando los cilindros a compresión axial según la norma NOM – C – 83

4.1.15 Decimbrado.

Es la etapa de la fabricación con un mayor riesgo para el elemento, ya que se deben evitar esfuerzos de cortante y de torsión para no producirle fisuras. La relativa facilidad (o dificultad) de la operación de descimbrado varía de acuerdo a la geometría del elemento. Las cargas de diseño a considerar durante esta etapa son:

- Peso propio del elemento.
- Succión.
- Fricción mecánica.



En el caso de los muros y fachadas, la mayoría de las veces, el refuerzo de acero por descimbrado y manejo, es mayor que el que se requiere para las cargas a las que estará sujeto en condiciones de servicio.

Los insertos, son accesorios que se colocan dentro del elemento y se utilizan para el manejo o para conectarlo al sistema estructural o para ambos casos.

Los ganchos de izaje (generalmente hechos de torón) son usados solamente como accesorios para levantar los elementos.

La dimensión y número de ganchos de izaje son determinados al calcular la carga a que estará sujeto cada punto de apoyo, incluyendo el impacto, para después aplicarle un factor de seguridad de 4 a la capacidad última del gancho.

Generalmente se utiliza torón de 1/2" de diámetro y grado 270K (270,000 lbs / pulg² = 19027.5 kg/cm²). Que al aplicarle los factores de seguridad nos queda 4.7 ton. de carga máxima. Y se utiliza una longitud de anclaje de 50 diámetros (60 cm aproximadamente).

4.1.16 Estibado.

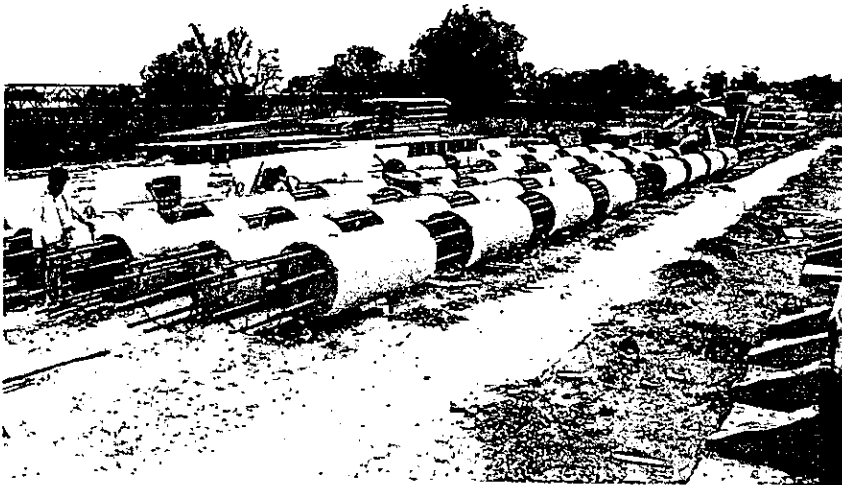
Consiste en acomodar las piezas, para su posterior traslado a la obra donde serán montadas, procurándose evitar dobles maniobras y dejando corredores para los accesos de grúas y trailers para los envíos.

4.1.17 Detallado.

Es la última etapa en el proceso de fabricación, en la cual se realizan las tareas de resane, recortes de puntas de torón, limpieza de conectores y accesorios, así como el rotulado, indicando el tipo de el elemento, obra a la cual pertenece y su orientación para el montaje.

Durante toda la etapa de fabricación, se verifica que se cumpla con el control de calidad, tanto el interno, propio de la empresa prefabricadora, como el externo, en caso de que existan requerimientos específicos del cliente.

Se supervisa que las características del concreto cumplan con los requerimientos del proyecto, se examinan los agregados que se utilizan, los aditivos, su proporcionamiento, el acero de refuerzo y de presfuerzo, los armados, soldaduras, posición y tensado de los tendones de presfuerzo, en fin, se cuida muy de cerca todas las etapas de producción, con el fin de entregar un producto perfectamente terminado, que cumpla con las especificaciones estructurales y de calidad.



4.2 PROGRAMACIÓN DE FLETES.

El flete de los elementos prefabricados, consiste en la transportación de los mismos, desde la planta prefabricadora hasta el sitio de la obra, para su montaje.

El programa de fletes, es la coordinación de envíos de los elementos, en un orden tal, que se adecua a las necesidades del programa de montaje, con el fin de que se tengan en la obra los elementos requeridos en el tiempo preciso, listos para montarse, tratando de evitar al máximo dobles maniobras y tiempos muertos, que en el caso del montaje son sumamente costosos.

Una vez que se tiene elaborado el programa de montaje, se puede ver en él, las cantidades de elementos que se tienen que enviar día a día y el orden en que se requieren, con esto, se realiza un análisis en donde se determina los trailers necesarios para poder cumplir con las entregas.



Los elementos prefabricados son generalmente soportados en dos puntos para prevenir esfuerzos adicionales para el transporte, son los que se usan para el manejo en planta de los elementos, tal como el desmolde y estiba en el almacén.

Cabe aclarar que cuando el elemento es autoestable, puede transportarse simplemente apoyando los puntos de soporte con polines hacia la plataforma del trailer. Tal es el caso de los elementos con secciones tipo: doble T, TTV, T invertida, losas extruidas. Por el contrario para los elementos con secciones tipo: T, TY, I y L será necesario el uso de arneses para sujetar los elementos al trailer. Ahora bien, dependiendo de las dimensiones y del peso de los elementos, será posible transportar hasta 3 elementos por trailer, siendo restricciones, las características y reglamentos de las carreteras federales y caminos secundarios, en las que se limita el ancho máximo de la carga, la altura debido a los puentes existentes, así como el peso de la misma. De esta forma se deberá tener especial cuidado en escoger la ruta adecuada, si es que elementos muy altos o muy pesados o ambos casos van a ser transportados.

En la mayoría de las carreteras y a menos que se obtengan permisos especiales para circular (ante la Secretaría de Comunicaciones y Transportes) las restricciones en cuanto a peso y dimensiones son las siguientes.

- Altura máxima: 4.25 m incluyendo la altura de la plataforma (1.8 m).
- Ancho máximo: 2.5 m.
- Largo máximo: 18 m.
- Peso máximo: 30 tons.

Es posible transportar (pagando sobreprecio por cada cm extra) hasta 3.00 m de ancho. Para fletar elementos de un ancho mayor a 3.00 m es necesario solicitar el permiso a la S.C.T. llevando carros piloto que escolten al frente y en la parte posterior del trailer que efectúa el transporte.

En cuanto al largo máximo, en México esta especificación varía dependiendo de la carretera o camino en el que circula la carga. Se permite que la carga circule sin carro piloto, siempre y cuando no se exceda la longitud de la plataforma en la parte trasera de 18 m.

Para plataformas normales de 12.20 m, la longitud máxima de los elementos será de 15 m, teniendo que volarse el elemento por ambos extremos. Al frente el volado máximo por restricción del trailer es de 1 m y para la parte posterior para asegurar la estabilidad de la carga, hasta 2 m. Esta condición hace necesario el uso de un carro piloto que vaya siguiendo al trailer. Algunas compañías de transporte especializadas poseen trailers con plataformas expansibles hasta 18 m e inclusive 20 m. Esto evita el uso del carro piloto, pero si se trata de elementos mayores es necesario el uso de dollys o diablitos que sujeten los extremos de los elementos.



Por lo tanto es necesario solicitar permiso de circulación especial en el caso de:

- Que la carga exceda los 18 m de longitud (sea transportada con plataforma o con dolly).
- Que la carga tenga un voladizo en la parte posterior, aunque éste sea menor a 18 m. Este el caso de los elementos de más de 13 m de longitud que se transportan en plataformas normales.



En el primer caso el carro piloto va en la parte de enfrente y en el segundo caso, el carro piloto va en la parte posterior, en el supuesto de que ambos casos se combinen, entonces serán necesarios dos carros piloto uno al frente y otro atrás escoltando el trailer.

El peso máximo que se puede transportar es de 30 ton, esta es una restricción impuesta por la mayoría de los equipos de transporte de acuerdo a su capacidad de carga. Aunque en algunos casos se puede transportar hasta 40 ton.

4.3 PROGRAMACIÓN Y COORDINACIÓN DEL MONTAJE.

Un aspecto clave para tener un buen proyecto con elementos prefabricados es seguramente el montaje. En caso de no realizar un correcto análisis del montaje, se pueden tener grandes pérdidas; el poder, el captar los problemas y soluciones particulares de cada obra, puede dar a los prefabricadores alta competitividad, al realizar una rápida construcción. El planear adecuadamente cada una de las fases de proceso constructivo, es muy importante para asegurar un buen montaje.

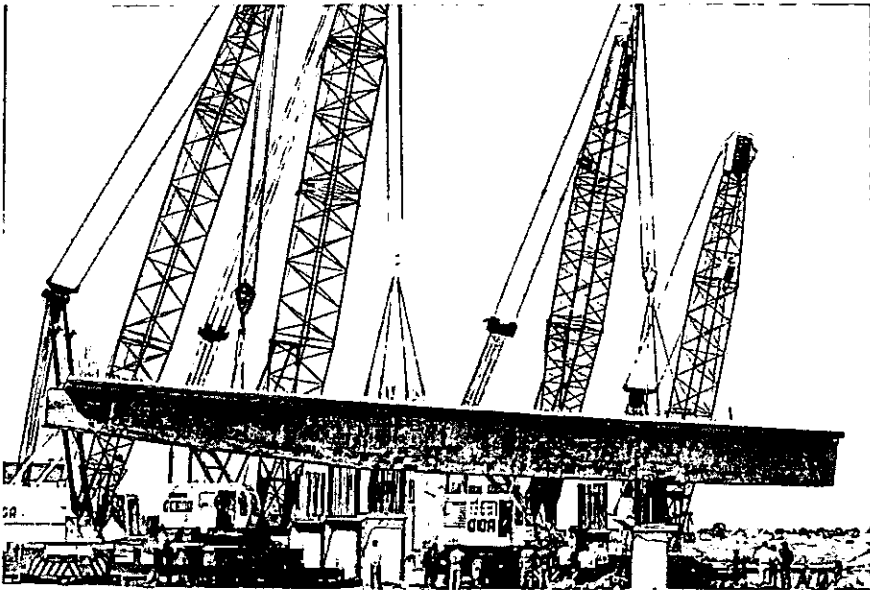
Para lograr un montaje eficiente, es necesario que se tomen en cuenta las circunstancias que se afectarían por el uso de determinados productos. Así se pone especial atención en los siguientes aspectos.

4.3.1 Elaboración de un proyecto con elementos prefabricados.

Los proyectistas generalmente realizan sus diseños, dentro de ciertos parámetros en cuanto a las dimensiones y pesos de los elementos prefabricados desde el inicio del proyecto. Se toma como un punto base que el peso de los elementos no debe ser mayor de 11 toneladas, sin importar si son elementos estructurales o arquitectónicos, a menos que se consulte directamente con personal especializado en montaje de prefabricados, es posible fabricar elementos con pesos mayores, siempre y cuando se tengan buenos accesos que estén cercanos al sitio de montaje. Los proyectistas deben de tener cuidado de la importancia de tener condiciones apropiadas para el montaje, especialmente en lugares muy conglomerados y que el sitio a la obra se encuentre entre estructuras ya existentes y por lo cual, se tengan que emplear grandes y costosos equipos de montaje. Se requiere también tolerancias reales entre los elementos prefabricados y los demás elementos de obra.

Por ejemplo, las tolerancias de construcción para elementos de soporte colados en sitio o de acero estructural que deban añadirse a las de fabricación de los elementos elaborados en planta a fin de determinar los claros de los elementos prefabricados y las dimensiones de las ménsulas, trabes, columnas, etc. , que serán colados en sitio.

Es muy importante que el estructurista defina al inicio del proyecto el tipo de conexiones y accesorios que se deberán dejar preparados para sostener los elementos de fachada.



Es necesario tener cuidado que las conexiones diseñadas sean eficientes y que además cumplan con las tolerancias requeridas.

Si se tiene que rediseñar en el momento de presupuestar, se debe de asegurar que el contratista general esté enterado de los efectos que causarán los cambios a otros aspectos de la obra, de lo contrario cualquier extra tanto de materiales como de mano de obra y equipo se cargará a la cuenta del fabricante. Así mismo, el fabricante debe de elaborar el programa de montaje de los elementos, añadiendo a éste sus cláusulas de escalación, previendo de esta forma cualquier incremento en los conceptos que lo integran (cuadrilla de montaje, renta de equipo, materiales, etc.). Las demoras en el programa de obra, por circunstancias ajenas al montaje en grandes proyectos, son comunes, por lo tanto se debe de tener especial cuidado en la elaboración del programa de montaje, para evitar sobrecostos.

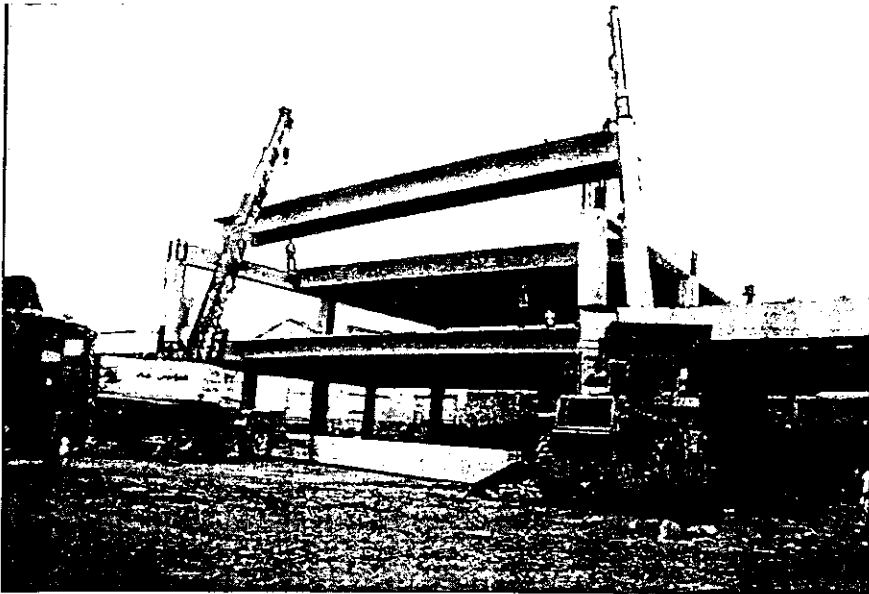
Cada tipo de elemento posee diferentes problemas de montaje, por lo tanto cada tipo de elemento requiere de conexiones especiales, las cuales deben de facilitar su colocación, así como dar estabilidad al elemento.

Los elementos verticales tales como los muros de carga y las columnas, requieren de mayor cuidado durante el montaje ya que éstos sirven como puntos de referencia para los elementos que soportan. Los procedimientos de montaje deben desarrollarse para asegurar que los muros de carga y las columnas estén perfectamente alineadas, mientras las conexiones para estos elementos deben diseñarse para facilitar tanto el alineamiento temporal como el permanente, así como para dar estabilidad al elemento.

Por ejemplo: un gran ancho de patín y el esbelto nervio de una trabe T simple, hace que sea un elemento relativamente difícil de colocar. La estabilidad se realiza por medio de una combinación de apuntalamiento y secuencia. Por ejemplo: la primera T en a secuencia de montaje, se apuntala o se detiene con la grúa, mientras se sueldan las placas de conexión de trabe a elementos de soporte del sistema estructural y la segunda elemento se conecta a la primera con los conectores longitudinales, mismos que finalmente formarán parte del sistema general de conexión.

Existen otros elementos que son difíciles de montar, como los de fachada, que probablemente sean los más críticos para lograr un montaje eficiente. Las conexiones deberán de realizarse de tal forma que se permita estabilidad y alineación inmediatos, maximizando la productividad del montaje. Así, la selección de conexiones, ya sean soldadas, a base de pernos e insertos o coladas en sitio, deben hacerse teniendo en cuenta su facilidad para el montaje.

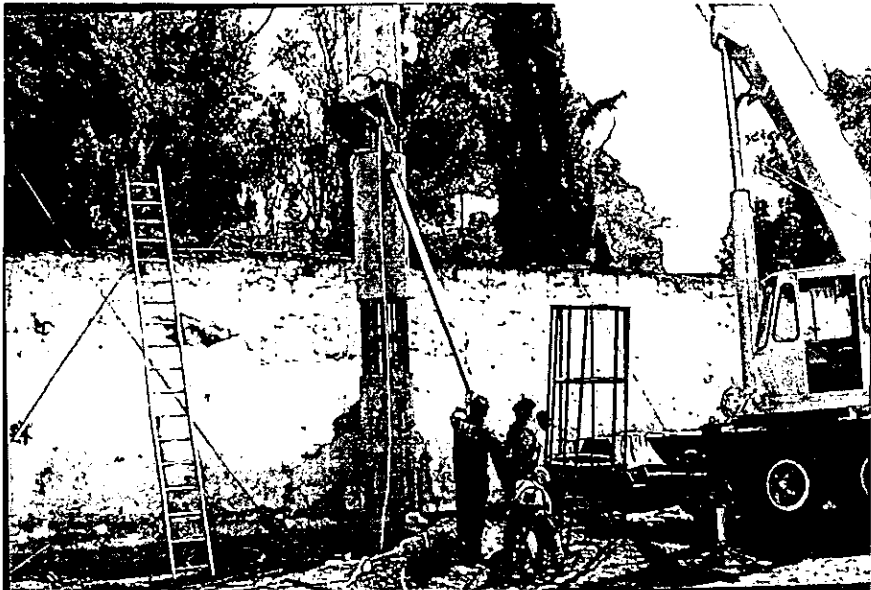
También hay otros productos cuya colocación es relativamente fácil, ya que no presentan problemas particulares de estabilidad y a menudo prescinden de conexiones temporales durante la secuencia de montaje. Algunos de éstos pueden ser: elementos portantes como la sección T invertida o la sección L; elementos rigidizantes como la sección I o rectangular; losas de entrepiso o cubierta como la sección TT, losas extruidas o la sección TTV.



La cuadrilla de montaje simplemente coloca este tipo de elementos en su posición definitiva, tan rápido como sea posible (sin el uso de conectores temporales) y hasta que todas las unidades sean instaladas, entonces la cuadrilla de montaje realiza las conexiones permanentes de la estructura.

Ciertos croquis son esenciales para el personal, tanto de montaje como el de supervisión. Se necesitan alzados del edificio y los planos que muestren la posición definitiva de los elementos para que éstas se marquen y eliminando así la posibilidad de un error en la colocación. Es necesario que los elementos estén marcados y que estas marcas indiquen el tipo de elemento y su orientación.

También será necesario crear un plan de apuntalamiento y refuerzo o también llamado contraventeo para elementos prefabricados inestables o que se incorporen a la estructura antes de liberarlos del equipo de montaje.



Antes de empezar el montaje de los elementos prefabricados, se requiere alguna coordinación entre el fabricante y el contratista general. Primero debe determinarse que los accesos alrededor y dentro de la obra sean adecuados y suficientes.

Apoiándose en la secuencia de montaje, el encargado de éste, hace la relación de elementos que se necesitan en obra, para que sean enviadas desde la planta, como se vayan requiriendo para ir cerrando el edificio. En la relación de elementos también se indicará la colocación individual en el trailer, para ahorrar de esta forma por doble maniobra (descarga y acomodo).

4.3.2 Equipos de montaje.

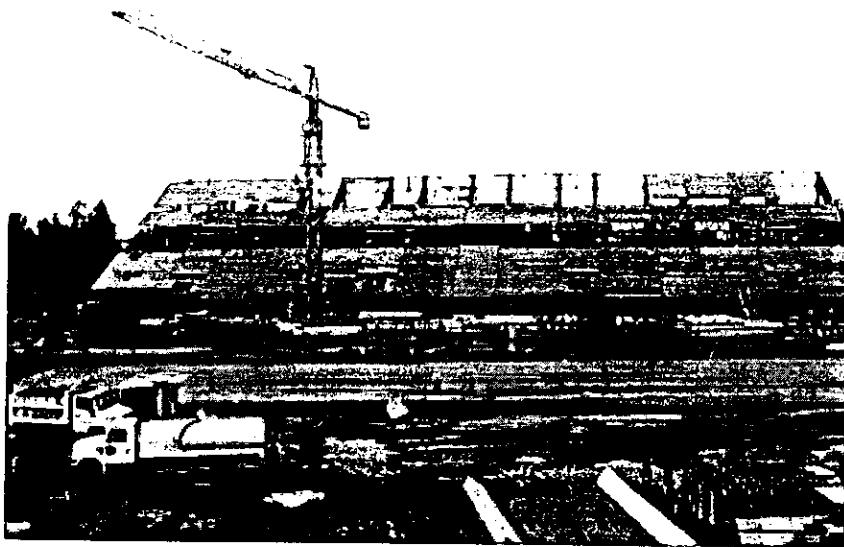
El equipo de montaje usado para instalar prefabricados generalmente varía de acuerdo a la altura del edificio.

Para edificios altos, de más de 16 pisos.

- Grúa torre fija.
- Grúa torre sobre vía.
- Grúa autoplegable.

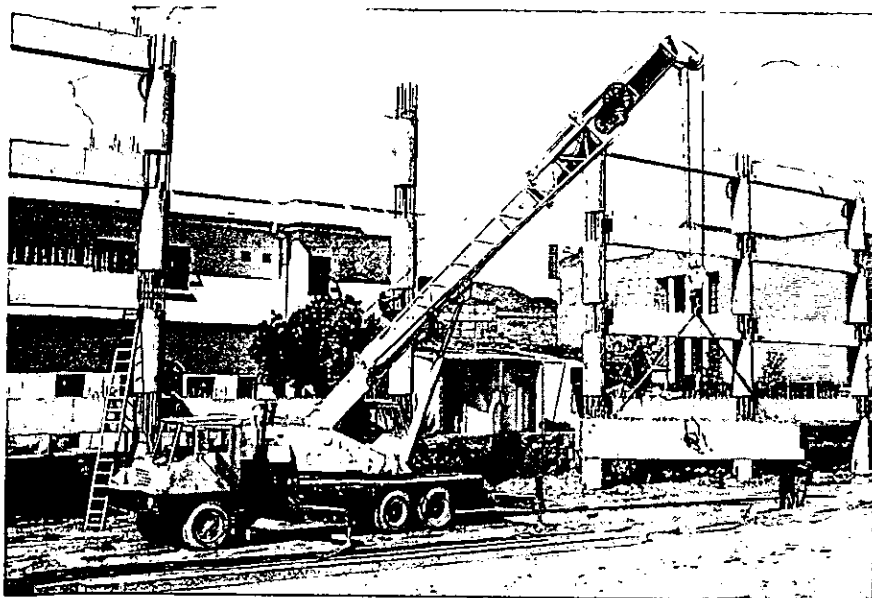
Para edificios medianos de 5 a 16 pisos.

- Grúa torre fija o autoestable.
- Grúa estructural sobre orugas 140 – 200 ton.
- Grúa estructural sobre camión 125 – 140 ton.



Para edificios bajos de hasta 4 pisos.

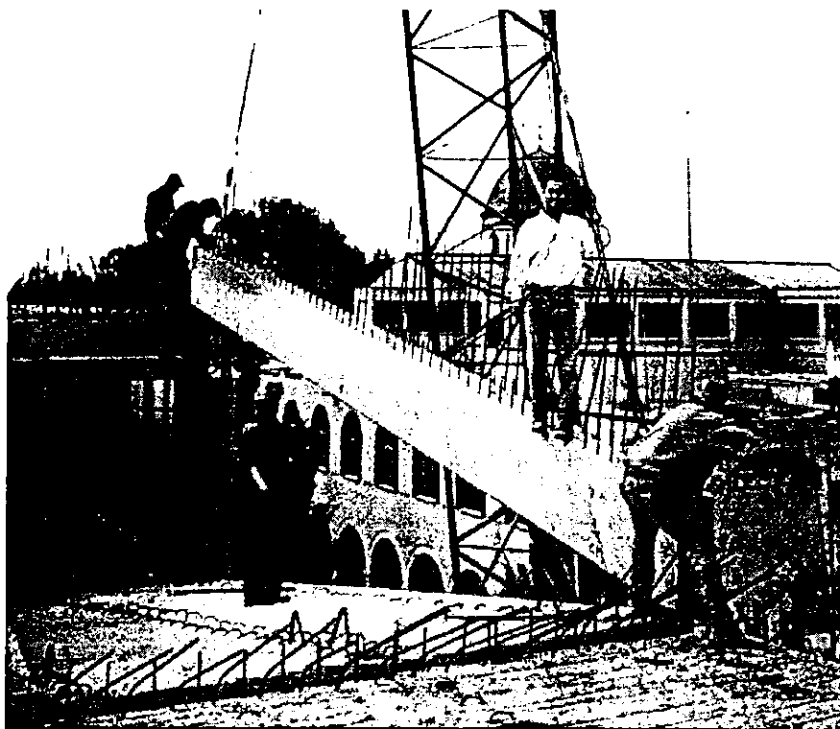
- Grúa estructural sobre camión.
- Grúa hidráulica de hasta 50 ton. (para elementos ligeros).





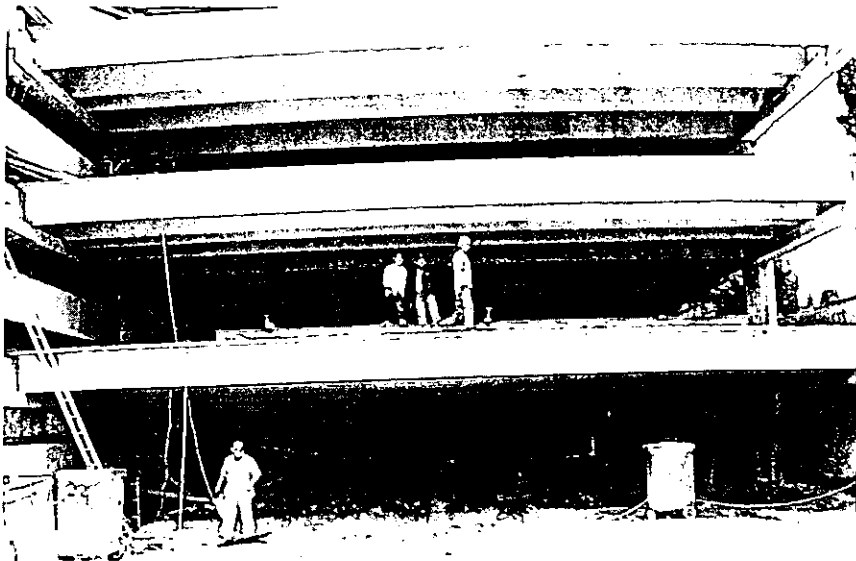
A veces es necesario estibar los elementos prefabricados en obra debido a problemas ocasionados por la secuencia de montaje. Al hacerlo, la estiba en obra debe realizarse de la misma forma que se almacenan los elementos en planta, usando los soportes adecuados en lugares también adecuados.

Las cuadrillas de montaje varían en composición, dependiendo del alcance y la variedad del trabajo a desarrollar en el sitio de la obra. En general, la cuadrilla básica de montaje tanto para elementos arquitectónicos como para estructurales, se compone de un operador de grúa y su ayudante, un sobrestante y cuatro maniobristas, así como cualquier otro personal adicional atendiendo al trabajo requerido como parte del montaje, tal como soldaduras (oficiales soldadores), colados en sitio (albañiles), calafateo y empates (resanadores) y armados (fierros).



En general los elementos de soporte de concreto colado en sitio tales como vigas, columnas y muros de carga, etc., deben diseñarse de tal forma que puedan terminarse antes de que el montaje de los elementos prefabricados empiece, permitiendo que se coloquen en forma continua, evitando los costos extras por tiempos muertos de la maquinaria que al final resultaría en una pérdida de productividad, comparada con una operación ininterrumpida.

La forma más eficiente de colocar elementos prefabricados en edificios es la de cerrar ejes, es decir, que se monte toda una sección del edificio, sin necesidad de desplazar la grúa, hasta que se cierre un eje completo, repitiéndose la operación en el siguiente punto de apoyo de la grúa. Los elementos verticales altos, como columnas o muros prefabricados, son alzados a su posición vertical utilizando 2 líneas de montaje. Algunos insertos para maniobras de manejo son usados también como puntos finales de conexión al edificio cuando es posible.



Un adecuado contraventeo para resistir las fuerzas horizontales (sismo o viento) es elemental para todos los proyectos de esta naturaleza. Los elementos de fachada deben empatare a la estructura antes de que se liberen del equipo de montaje. También es recomendable elaborar un plan para cada movimiento de la grúa, a fin de minimizar las pérdidas de tiempo en campo.

Se deberá tener cuidado especial en el montaje de los elementos, para lo cual será necesario realizar varias funciones:

- Asegurar que el sitio de la obra está realmente listo para recibir los elementos prefabricados.
- Coordinar con el contratista general de la obra o con el cliente los accesos adecuados y la disponibilidad de espacios libres para estibar elementos en obra mientras se efectúa el montaje.
- Checar que la estructura colada en sitio se vaya ejecutando de acuerdo al programa de obra y esté acorde con el proyecto, con el fin de evitar retrasos en la obra y asegurar la distribución correcta del sistema portante donde apoyarán los elementos precolados.
- Checar la posición de los accesorios en inserto colocados en los elementos colados en sitio, conforme a los croquis y tolerancias máximas, mismos que servirán de empate con los elementos prefabricados.
- Mantener control estricto de los procedimientos de montaje, para asegurar que la adecuada coordinación sea obtenida, que permita una rápida colocación de los elementos.

- Asegurar que los ganchos o accesorios de izaje estén colocados como se indica en los croquis de fabricación, proporcionando así seguridad para el personal de obra.

- También supervisará que se cumpla con el sistema de rigidización del edificio especificado en el proyecto generalmente propuesto por el prefabricador. Significa revisar que las conexiones a base de cierres de concreto colado en sitio y en firme estructural se hagan correctamente.

4.4 Flete y montaje del Estacionamiento de la UVM.

En todas las obras, los procedimientos de diseño, cálculo y fabricación de elementos prefabricados, siguen generalmente el mismo sistema para su elaboración, esto quiere decir que las actividades que se realizan no varían de manera significativa, no así, en los casos de flete y montaje.

Por lo tanto, es necesario realizar un análisis particular de cada proyecto, ya que las variables son muy diversas, esto con el fin de presupuestar de manera adecuada estas actividades, ya que un error u omisión de algún factor que afecte directamente al flete y montaje, sobre todo a este último, se traduce en grandes pérdidas de dinero.

Para poder realizar dicho análisis, es necesario, que el equipo especializado en montaje, conozca el proyecto, el lugar donde se va a construir la obra, cantidades y tipos de elementos que se van a montar, sus pesos y dimensiones, así como el presupuesto con que se cuenta y tiempo de que se dispone para iniciar y concluir la obra.

Con estos datos es posible realizar el programa de montaje, en el cual se especifica el tiempo necesario para poder montar todos los elementos que componen la estructura, el equipo que se requiere para realizar los trabajos (grúa, mano de obra, equipos especiales, etc.), los frentes que se atacarán, el

orden de montaje de cada uno de los elementos, así como la fecha en que se colocarán. De esta forma y partiendo de los resultados arrojados de este programa, se puede pasar a la elaboración del programa de fletes.

El programa de fletes, es la coordinación de envíos de los elementos, en un orden tal, que se adecua a las necesidades del programa de montaje, con el fin de que se tengan en la obra los elementos requeridos en el tiempo preciso, listos para montarse, tratando de evitar al máximo dobles maniobras y tiempos muertos, que en el caso del montaje son sumamente costosos.

Una vez que se tiene elaborado el programa de montaje, se puede ver en él, las cantidades de elementos que se tienen que enviar día a día y el orden en que se requieren, con esto, se realiza un análisis en donde se determina los trailers necesarios para poder cumplir con las entregas.

De lo anterior, se puede deducir que del programa de montaje, no solamente depende el de fletes, sino también el de fabricación, ya que este último, se tiene que adecuar a las necesidades de los dos anteriores, de este modo, se determina el ritmo que tiene que llevar la producción en planta para cumplir con los tiempos y avances de obra, ya que, en la mayoría de los casos, la empresa prefabricadora no es la única que trabaja en la construcción de la estructura, sino que, detrás de ella vienen las empresas que se dedican a la obra civil, instalaciones, acabados, etc., por lo tanto, un retraso en el programa de montaje, repercute en retrasos en las otras empresas, lo cual, es sancionado con multas económicas.

Por lo tanto, se hace notar, la gran importancia que tiene un correcto estudio de las condiciones particulares de cada obra, con el fin de prever cualquier condición que pudiera afectar de manera directa o indirecta el proceso de montaje.

El montaje de un elemento, depende de varios factores, como son: tipo de elemento, dimensiones, geometría, peso y posición que ocupará en la estructura.

En el caso del estacionamiento, el montaje se llevó a cabo de la siguiente manera:

Se tienen 3 ejes principales: A, C y E, que forman los entre-ejes: A – C y C – E, en estos entre-ejes se procederá a atacar el montaje en dos frentes. Por medio de dos grúas: una de 30 ton. y otra de 110 ton.

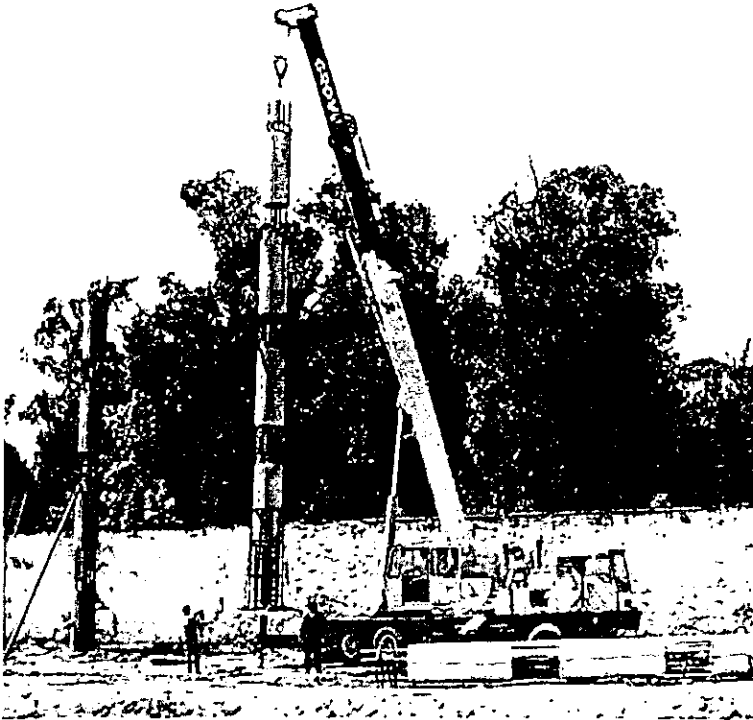


La primera tarea que se realiza antes de efectuar el montaje de los elementos prefabricados, es la de revisar con el topógrafo el trazo que se tiene en proyecto, contra el real, que nos dan las pilas y contratraves ya coladas por el cliente. Esto se hace, con el fin de detectar posibles discrepancias entre uno y otro trazo y de existir diferencias significativas dárselo a notar al cliente para aplicar soluciones y deslindar responsabilidades.

Una vez que tiene el trazo, se obtienen los ejes y los niveles de desplante de las columnas, las cuales sirven como guía para todos los demás elementos, por lo cual es de suma importancia la colocación de la primera columna, ya que ésta sirve como referencia para nivelar las siguientes columnas.

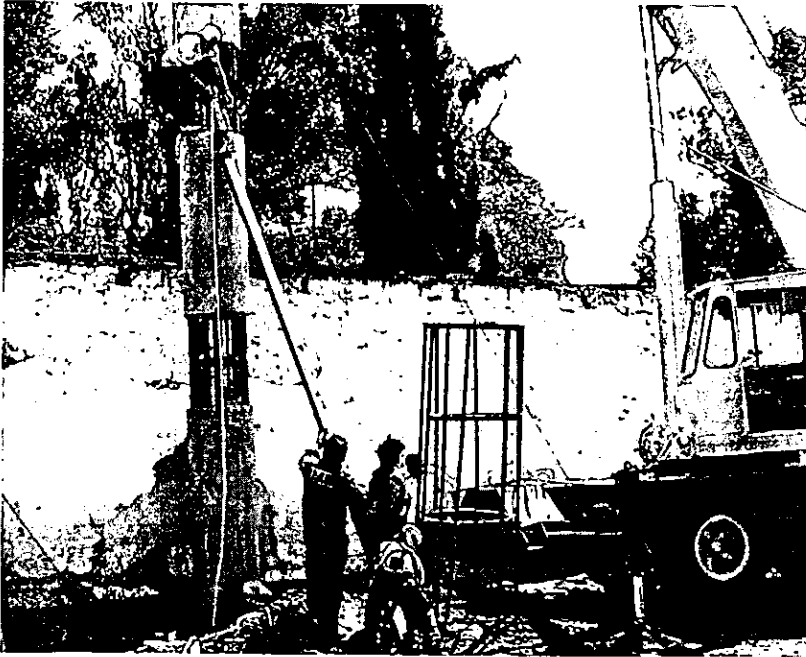
El procedimiento de montaje de las columnas es el siguiente:

Primero, se marca la columna con lápiz de color para indicar el centro y poderla alinear y orientar de acuerdo al proyecto, ya que debido a que es de sección circular no es tan evidente una mala orientación, también se revisa su geometría y la posición de los accesorios; se revisa la marca que indica el número y tipo de elemento, con el fin de estar seguros que se está colocando el elemento adecuado en el lugar adecuado.



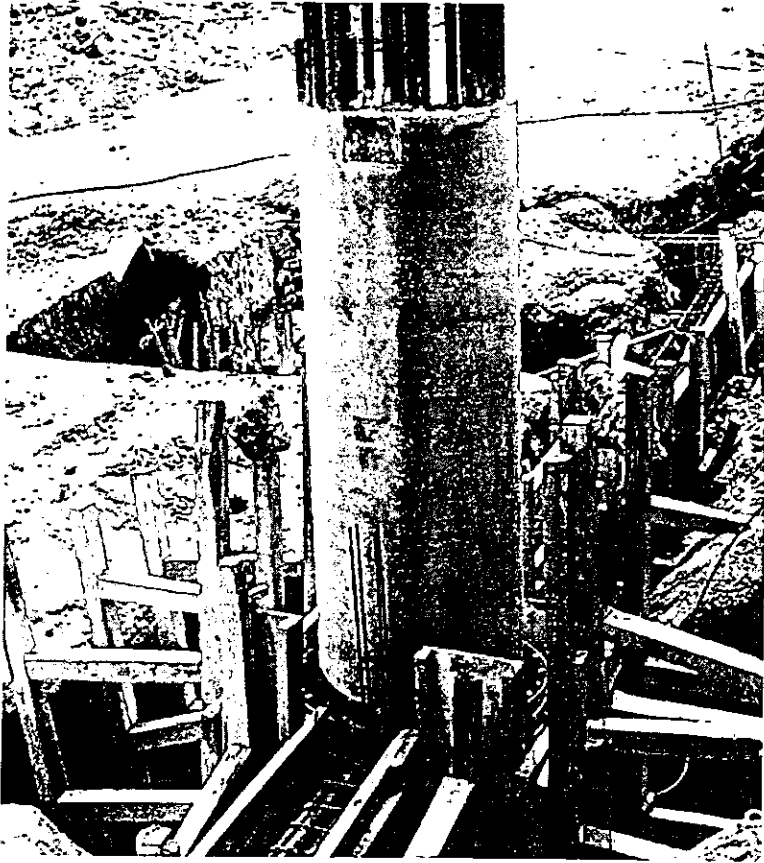
Después, con ayuda del topógrafo, se marca el punto en la placa soldada a la pila, donde deberá de colocarse la columna de manera alineada.

Con la columna aún al piso, se le colocan los "vientos" (cables de acero) con los cuales se fija la columna y se nivela con ayuda de los "tirfors"; también se le sueldan varillas de manera perpendicular en la parte más alta de la misma y se colocan alambres, de los cuales se colgarán rocas para que sirvan como plomada para nivelar la columna.

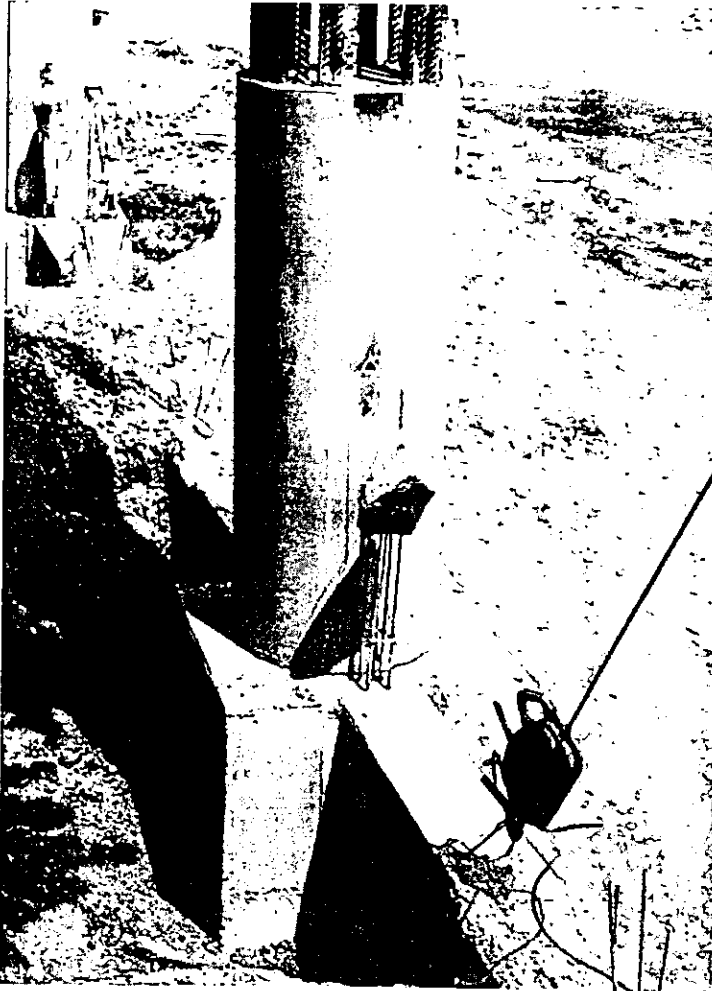


Una vez que se ha preparado la columna, se sujeta por medio de los ganchos de izaje al cable de la grúa, en el caso particular de estas columnas, únicamente se sujetaban de la parte más alta de las mismas y se les colocaba un arnés en la parte inferior, con el fin de reforzar la columna durante el proceso de erección, y evitar los esfuerzos de flexión en la misma, así como, evitar que se dañe el refuerzo inferior y el accesorio, que van ahogados en el dado de cimentación.

Una vez que se ha izado la columna, y se tiene en posición vertical, se retira el arnés y se tensan los contraventeos con los "tirfors" anclados al terreno, ya que se ha nivelado la columna se suelda el accesorio a la placa de la pila y se retira el cable de la grúa. Es necesario que se cuele el dado de cimentación lo más pronto posible ya que se puede desnivelar la columna si se llegara a golpear uno de los "vientos", además de que es muy peligroso tener elementos contraventeados en una zona sísmica como la Ciudad de México.

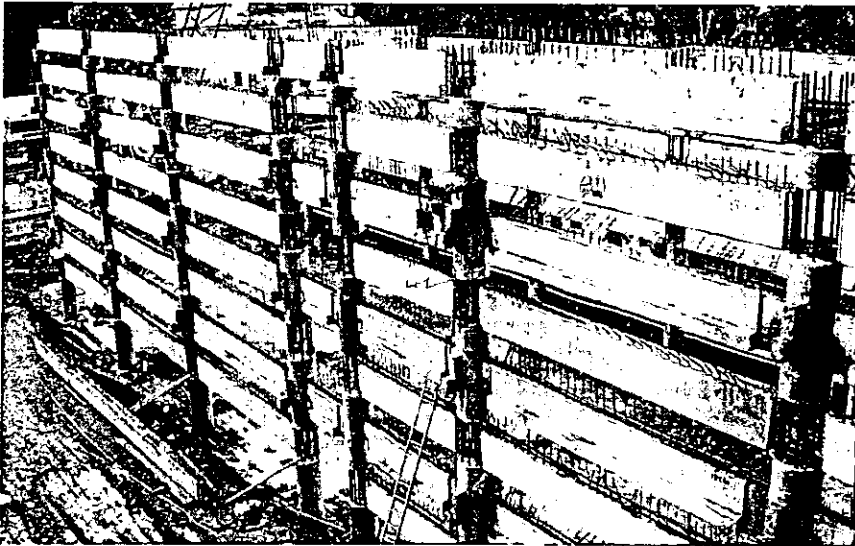


El colado de dados generalmente se efectúa dos días después de que se colocó la columna, ya que se requiere cimbrar y armar el dado, una vez que el concreto ha fraguado y alcanzado su resistencia de proyecto, esto es $0.8 f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, se pueden retirar los "vientos" y se descimbra el dado. Después, se rellena la excavación alrededor del dado y compacta el material con "bailarinas".



Ya que se tienen colocadas todas las columnas de un eje, se comienza a montar las trabes portantes tipo L, estos elementos son muy rápidos de colocar, ya que sólo se nivelan y se "puntean" para después soldarlos debidamente.

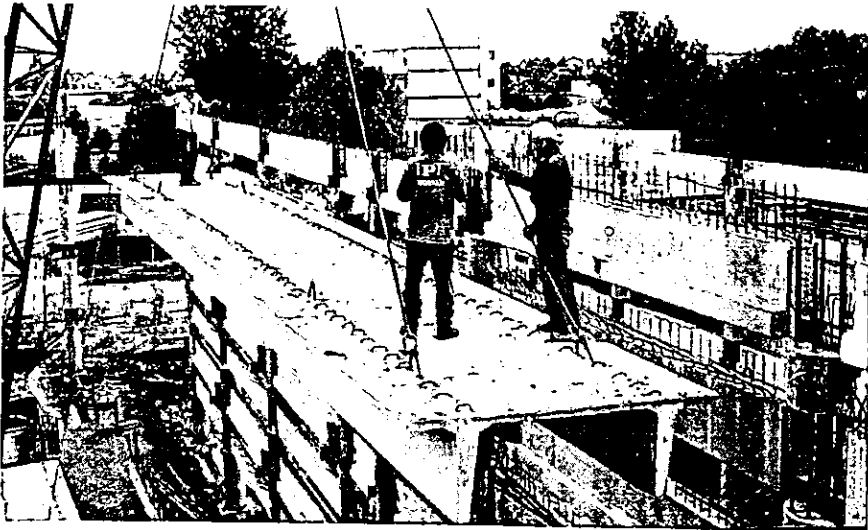
Una vez que se han montado todas las columnas y trabes portantes, se inicia el montaje de las trabes rigidizantes de sección rectangular, así como las T invertidas de la zona de rampas. Cuando se han colocado todas las trabes de la zona de rampas, se montan las losas TT de las rampas con la grúa de 110 ton. ya que el gran alcance de su pluma estructural, permite volar dichos elementos a través del cubo que se forma. Mientras tanto la grúa de 30 ton continúa en otro frente colocando elementos que le permite su alcance limitado a tres niveles.



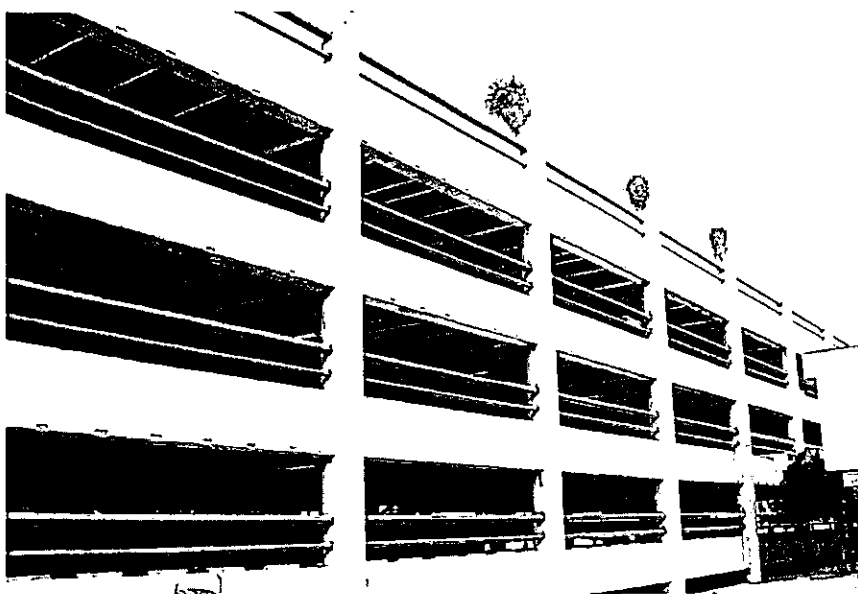
El rendimiento en el montaje por jornada variaba dependiendo del tipo de elemento; en el caso de las columnas, se montaban en promedio 3 diarias, cada una con un peso de 15.61 ton y una longitud de 13.55 m, en el caso de los ejes exteriores y 17.34 ton y 15.05 m de longitud, para las columnas interiores.

En el caso de las traves, el rendimiento varía dependiendo de la sección, desde 8 elementos diarios para las traves portantes tipo L, hasta 10 diarias para las traves rigidizantes de sección rectangular. Los pesos y longitudes de estos elementos van desde 4.98 toneladas y una longitud de 7.10 m hasta 9.12 toneladas y una longitud de 14.90 m en el caso de las traves rigidizantes de la sección de rampas.

En cuanto a las losas, son las que tienen el más alto rendimiento de montaje, ya que va desde 6 hasta 12 elementos por jornada, con longitudes de 9.10 m y peso de 6.33 toneladas en la zona de rampas, hasta 15.70 m de longitud y un peso de 11.51 toneladas. Lo cual representaba tener un avance de 430 m² de losa diarios.



Con este ritmo de montaje, se tiene en su totalidad la estructura del estacionamiento de 8700 m² en un lapso de seis semanas. Por lo cual podemos apreciar una de las grandes ventajas del sistema prefabricado. La velocidad de construcción.



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

La construcción en México, sigue siendo de manera tradicional, y solo un porcentaje muy bajo de obras se construyen con elementos prefabricados, ya que existe la creencia errónea, de que la prefabricación es un sistema muy caro y solamente es aplicable a obras de gran magnitud.

Es necesario acabar con esta idea, y utilizar la prefabricación más a menudo, ya que en todo el país existen prefabricadoras con la capacidad y tecnología, para llevar a cavo cualquier tipo de proyecto, con la calidad y ventajas que ya se han mencionado, propias de los elementos prefabricados.

Para poder lograr que la construcción por medio de prefabricados, se convierta en un sistema de uso común, es necesario que se difunda más su aplicación, por medio de las universidades, mediante la impartición de materias en donde se enseñe a diseñar y aplicar sistemas de presforzado y prefabricación. Para que cuando los ingenieros civiles recién egresados comiencen a construir, propongan el utilizar el sistema de elementos prefabricados y se vaya difundiendo como una opción viable y la tecnología que se aplica no sea desconocida por los constructores.

También es indispensable lograr una estandarización en los productos de todas las prefabricadoras, para abatir los costos y lograr una mayor comercialización de los elementos prefabricados, así como sus aplicaciones estructurales y arquitectónicas.

5.2 COMPARATIVA ENTRE UNA CONSTRUCCION MIXTA Y UN SISTEMA DE PREFABRICACION Y PRESFUERZO.

La construcción de una obra utilizando elementos de concreto prefabricados y presforzados, puede generar grandes ahorros de dinero, en comparación, con una construcción realizada mediante procedimientos tradicionales. Siempre y cuando, el proyecto se adecue a las condiciones bajo las cuales es viable utilizar la prefabricación, tales como: un número de elementos iguales y un volumen de obra suficiente para que sea costeable la implementación del sistema.

Los principales ahorros se generan en la mano de obra, la cimbra y en el tiempo de ejecución de la obra, lo cual repercute directamente en un ahorro en el costo de financiamiento.

En el caso específico de la construcción del Estacionamiento de la Universidad del Valle de México, la diferencia en costo entre un sistema y otro fue determinante, para que se optara por la prefabricación; en la tabla comparativa que se muestra a continuación, se puede apreciar los volúmenes de acero, concreto y cimbra que se requieren para la ejecución de la obra y sus correspondientes importes, las dos alternativas de construcción que se tenían son: la construcción mixta (utilizando estructura de concreto colada en sitio y losas dobles T prefabricadas) y la prefabricación de toda la estructura. Por tratarse de un sistema mixto, solo se comparan las columnas y traveses de rigidez, ya que en ambos casos las losas dobles T son prefabricadas.

Para la construcción de toda la estructura del estacionamiento con el sistema mixto se requería de aproximadamente 15 semanas, por otro lado, utilizando el sistema prefabricado, el tiempo necesario para tener la estructura del estacionamiento totalmente montada era de 7 semanas.

RESUMEN DE CONCEPTOS COLADOS EN SITIO

CONCEPTO	TIPO	M3	CONCRETO	CIMBRA/DESC	ACERO
TRABES	TP-1 A TP-6	343.00	\$ 327,379.20	\$ 220,946.40	\$ 709,506.47
TRABES	TR-1 A TR-3	143.66	\$ 137,123.48	\$ 77,731.20	
COLUMNAS	C-1 A C-7	148.31	\$ 141,561.91	\$ 15,906.00	\$ 219,617.35
CASTILLOS	K-1 A K-3	3.66	\$ 3,491.08	\$ 5,837.40	\$ 12,808.62
39 DADOS	DA-1, DA-2	37.44	\$ 35,735.31	\$ 81,306.81	\$ 83,217.68
MUROS DE RIGIDEZ		117.61	\$ 112,256.84	\$ 59,274.43	\$ 43,599.03
20 RAMPAS		117.07	\$ 111,745.20	\$ 72,777.60	\$ 103,113.24
828 PLACAS DE ACERO					\$ 53,590.00
SUMA			\$ 869,293.02	\$ 533,779.84	\$ 1'225,452.39

TOTAL \$ 2'628,525.25

COSTO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS

CONCEPTO	COSTO
32 COLUMNAS	\$ 750,264.50
184 TRABES	\$ 1'600,123.07
TOTAL	\$ 2'350,387.57

COSTOS ADICIONALES CON ELEMENTOS PREFABRICADOS

REFUERZO DE ESTRIBOS Y CONCRETO EN 201 NUDOS	\$ 71,422.00
REFUERZO DE CONTINUIDAD EN CONEXIONES EN 201 NUDOS	\$ 53,759.00
REFUERZO DE CONTINUIDAD EN TRABES	\$ 124,492.40
COSTO DE MANO DE OBRA CIMBRA Y DESCIMBRA	\$ 30,150.00
CIMBRA EN TRABES DE CONTINUIDAD	\$ 8,400.00
TOTAL	\$ 288,223.40

COSTO DE PREFABRICADOS	\$ 2'350,387.57
COSTOS ADICIONALES CON ELEMENTOS PREFABRICADOS	\$ 288,223.40
AHORRO EN 11 PILAS MENOS	\$ 178,750.00
SUMA	\$ 2'459,860.97

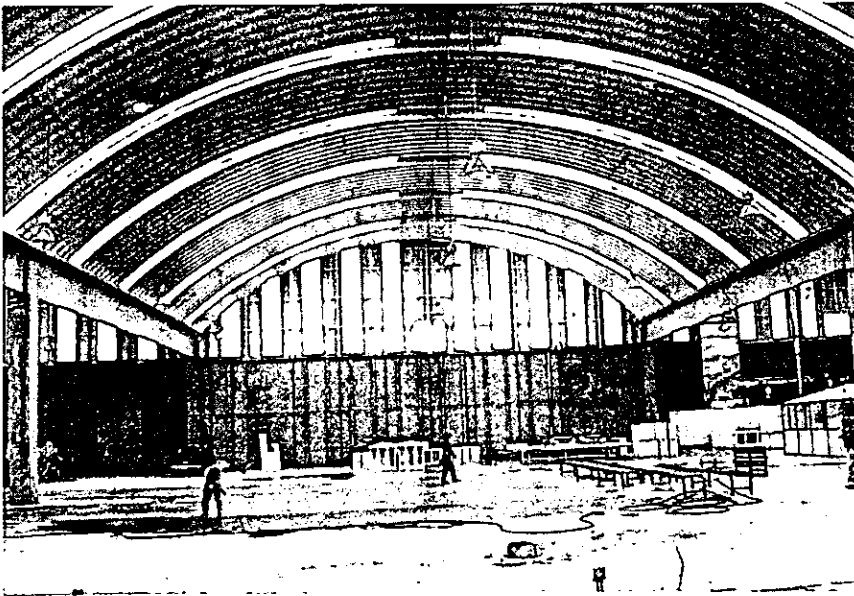
COSTO DE SISTEMA MIXTO **\$ 2'628,525.25**

DIFERENCIA \$ 168,664.28

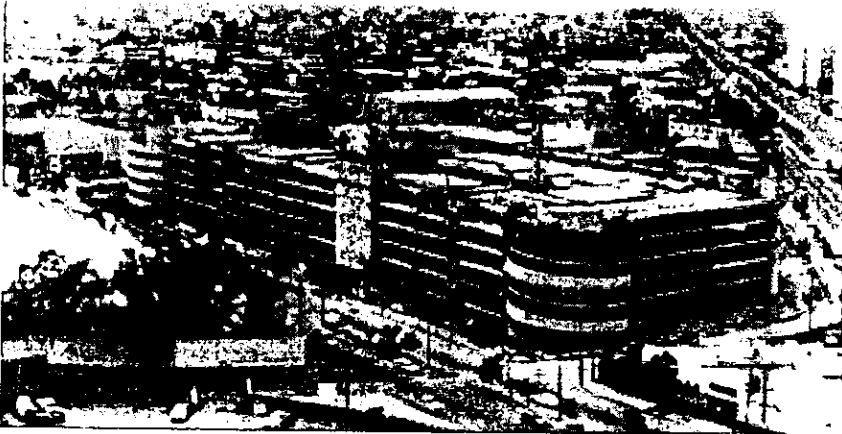
5.3 ESTRUCTURAS PREFABRICADAS Y PRESFORZADAS.

Nave industrial.

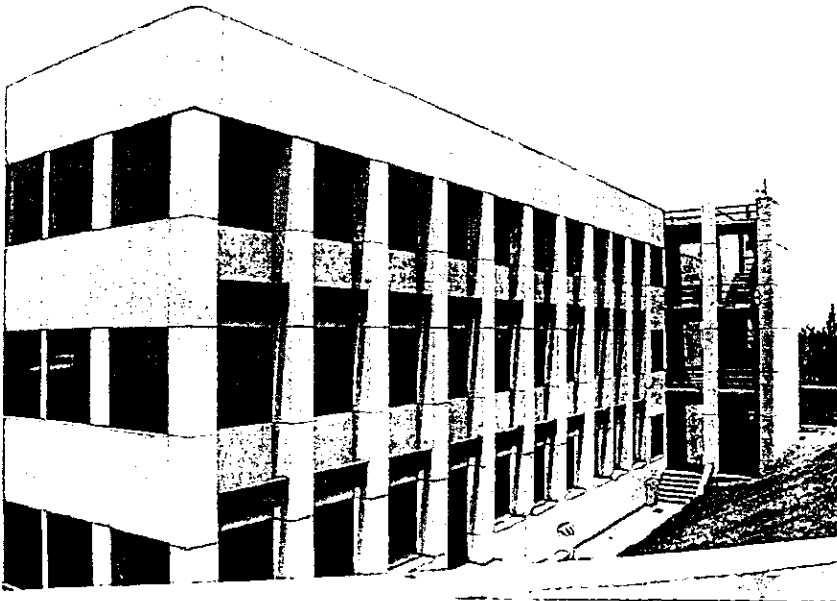
- Tiempo de ejecución: aproximadamente un 40 % menos que el tiempo requerido por un sistema de construcción convencional.
- 15,000 m² en 3 meses (incluyendo el proyecto).
- Costo: aproximadamente \$ 1,100.00 / m² sin instalaciones, ni acabados.
- Incluye: proyecto, excavación, cimentación, estructura, cubierta metálica, muros de fachada, pisos de concreto y drenaje.
- Capacidad de carga del terreno requerida: 10 ton/m²
- Claros: 25 x 25 m
- Altura libre: 5 m
- Se pueden conseguir áreas desde 750 hasta 900 m² sin columnas en medio.



Estacionamientos.



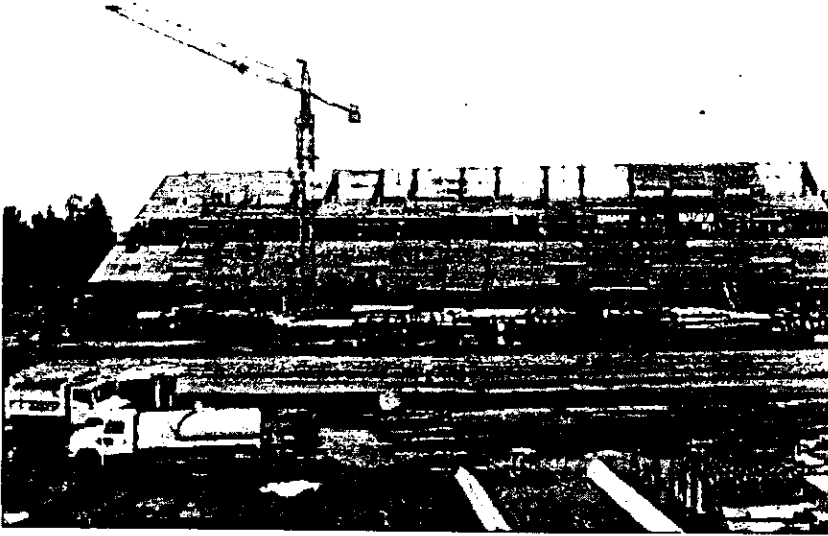
Fachadas.



Foros.



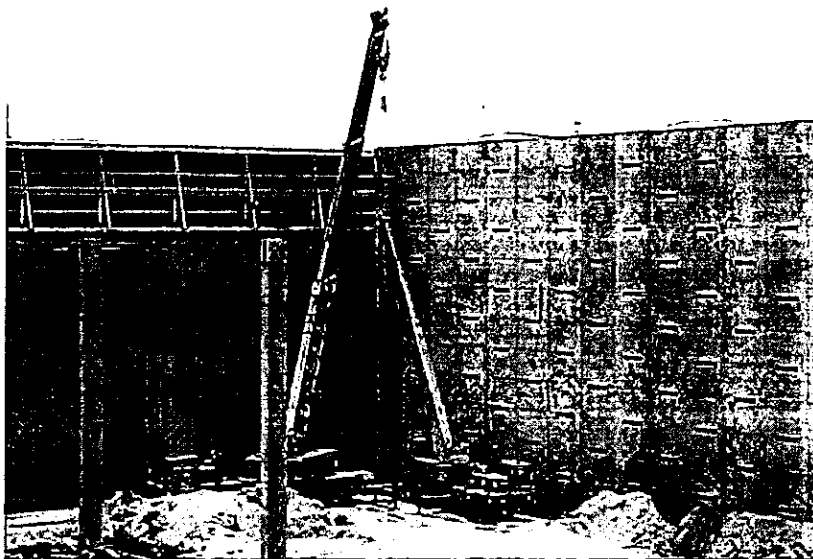
Estadios.



Escuelas.



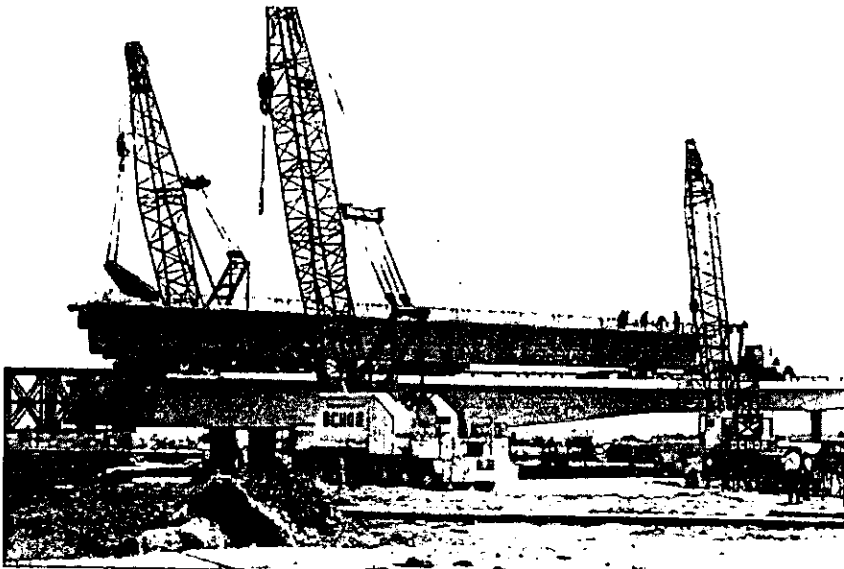
Muros.



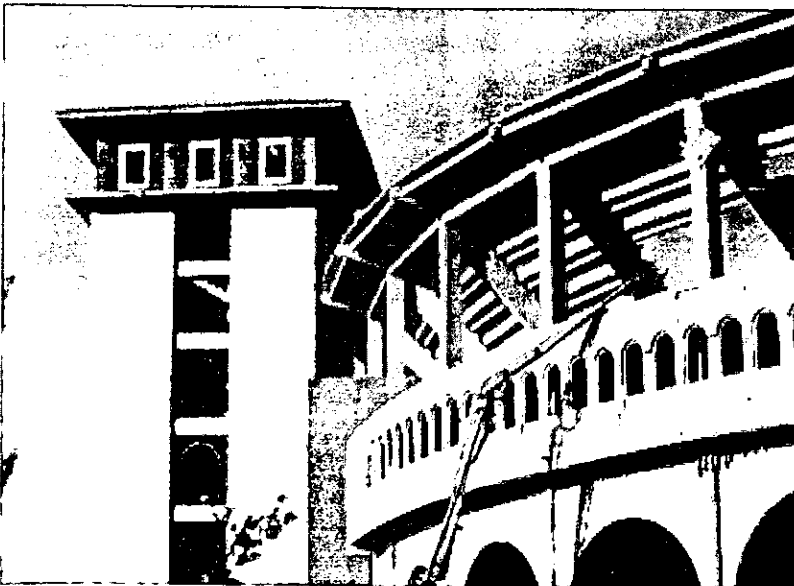
Entronques viales.



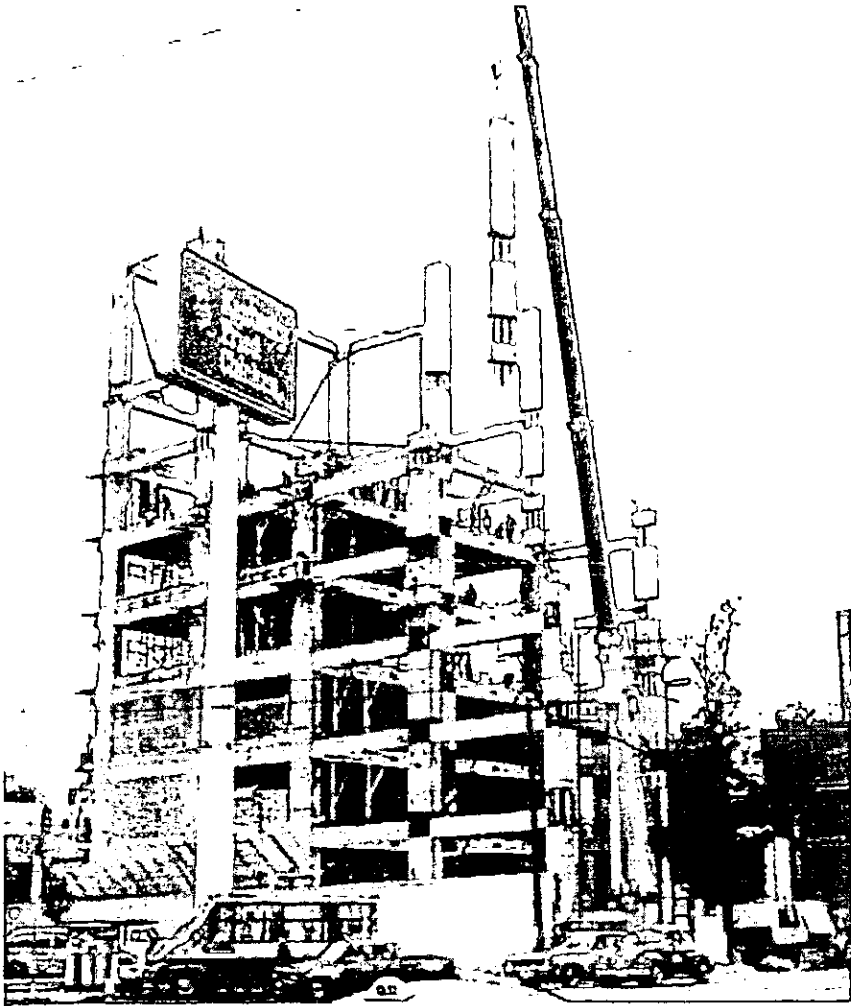
Puentes.

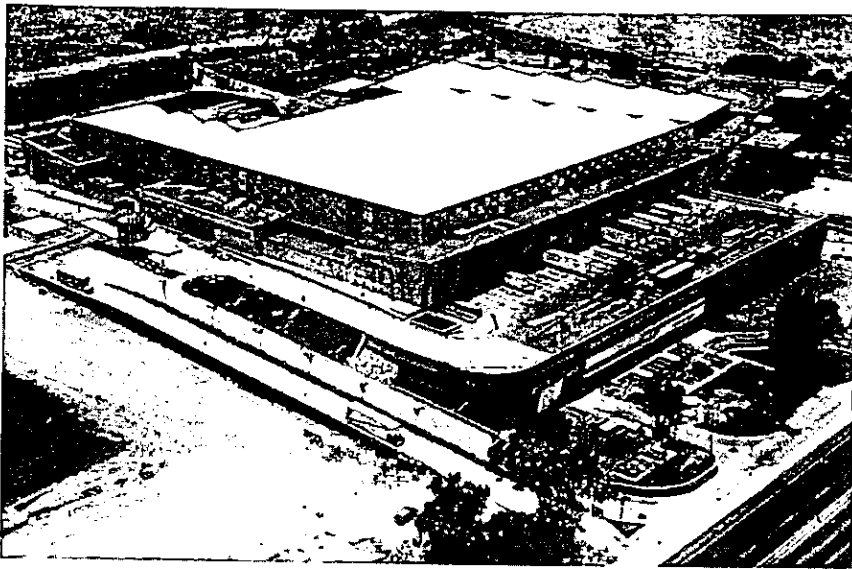


Plaza de toros.



Oficinas.



Bodegas.

Como se puede observar, la prefabricación es aplicable a prácticamente todo tipo de construcción, solamente falta darle una mayor difusión para que se convierta en un sistema de uso común, dado que, su eficacia y calidad, ya han quedado demostradas.

Bibliografía

Construcción de estructuras de concreto presforzado.

Ben C. Gerwick

Editorial Limusa

Introducción al concreto presforzado.

A. H. Allen

Editorial IMCYC

Concreto presforzado para arquitectos e ingenieros.

H. Kent Preston

Editorial Diana

Hormigón pretensado.

R. Lacroix / A. Fuentes

Editorial Técnicos Asociados
