

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**Facultad de Ingeniería.**



**TEMA: “PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN LA  
FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y MONTAJE DE ELEMENTOS  
ESTRUCTURALES PREFABRICADOS, UTILIZADOS EN EL  
PROYECTO VIADUCTO ELEVADO”**

**PRESENTA:**  
**OSCAR ANTONIO HERRERA HERNÁNDEZ**

**TESIS**  
**PRESENTADA PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**INGENIERO CIVIL**



**Asesores: Ing. Luis Zarate Rocha**  
**M.Ing. Sergio Macuil Robles**

**México D. F.**  
**2 0 1 2**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/075/11

Señor  
ÓSCAR ANTONIO HERRERA HERNÁNDEZ  
Presente

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

**"PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y MONTAJE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS, UTILIZADOS EN EL PROYECTO VIADUCTO ELEVADO"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE ELEMENTOS PRETENSADOS Y POSTENSADOS EN ESTRUCTURAS
- III. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS
- IV. CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA

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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 23 de Junio del 2011.  
EL PRESIDENTE

ING. RODOLFO SOLÍS UBALDO

RSU/MTH\*gar.



## AGRADECIMIENTOS

**“Si has construido castillos en el aire, no quiere decir que has perdido tu trabajo;  
En el aire es donde han de estar. Ahora pon el cimiento debajo.”  
Henry David Thoreau**

**EN MEMORIA DE:  
Dagoberto Herrera Hernández.  
Siempre estarás en mi corazón.**

**Cuando un amigo se va,  
Solo quedan los recuerdos,  
Los momentos placenteros  
Convivios de carnaval.  
Y el duelo el alma fustiga  
Por quien te brindo su mano  
Y te vio como a un hermano,  
Y te compartió su vida.  
Aquel que al verte a los ojos  
Sabía tu alegría o penar,  
Y siempre dispuesto a dar  
Para ti buenos consejos.  
El que compartió sus sueños  
Y que fuera tu gran socio,  
Si fue bueno o mal negocio,**

**Si fueron cosas de amor,  
Y causas colaterales,  
Los apoyos a raudales,  
Para obtener lo mejor.  
Buen amigo adiós te digo,  
Que el Dios que amaste despierto,  
Hoy que yaces aquí muerto,  
Te brinde en el cielo abrigo.  
Quizás no pierdo un amigo,  
Tal vez ya gane a un aliado  
Que este al final a mi lado  
Para mostrarme el camino.**

**CON TODO MI RESPETO.**

**Oscar Antonio Herrera Hernández**

**A Mi Madre:** Por darme la oportunidad de ser ingeniero, tu cariño, comprensión, apoyo sin condiciones ni medida. Gracias por guiarme sobre el camino de la educación y sobre todo gracias por enseñarme el sendero hacia la verdad, la honestidad, tu confianza en la realización de mis sueños y comprender mi vida propia fuera de casa, por tu ejemplo pulcro y recto esta tesis es tuya como lo más grande que he podido entregar durante mi formación profesional. Te amo.

**A mi amor Paty:**

Por tu apoyo, comprensión y amor que me permite sentir que puedo lograr lo que me proponga. Gracias por escucharme, por tus consejos y por apoyarme en mis malos momentos. Gracias por ser parte de mi vida. Eres lo mejor que me ha pasado. Te amo.

**A mi sobrina Michelle ( Mi Trolecilla):**

Por tu lucha incansable, demostrarme lo que es el amor verdadero. Que pase lo que pase nunca se romperá el vínculo tan grande, fuerte e inmune que tenemos desde el día que tuve la fortuna de cuidar de tus primeros años. Eres mi inspiración para lograr ser cada día mejor.

**Gracias a mi Mama Amelia:**

Por encomendarme siempre con Dios para que saliera adelante. Yo sé que sus oraciones fueron escuchadas, por consentirme y ser mi cómplice desde pequeño. Te amo.

**A mi hermano Daniel:** Por los buenos momentos que viví en tan grata compañía tus consejos y enseñanzas durante mi estancia en casa. Recuerda que las oportunidades son de quien las busca, no de quien aguarda por ellas.

**A mi tía Gloria, Javier, Aní:**

A pesar de la distancia siempre me alentaron y se mantuvieron atentos en mi proceso escolar. A mi tía, que desde un principio hasta el día hoy sigues dándome ánimo para terminar mis estudios profesionales. A ti Javier por tus buenos deseos y apoyo con los míos, en verdad lo aprecio. Aní por contagiarme tu buena vibra y excelente humor, por los buenos momentos que vivimos y por los recuerdos de aquellos días que eras la pequeña de la casa. Gracias.

**A mis tíos José Luis y Jesús.** Gracias por su apoyo y ayuda durante mi formación para ustedes mi respeto y mi admiración, Hace mucho tiempo que quería decirles todas estas cosas. Me apoye de ti, justamente cuando más lo necesite, y nunca me dejaste solo. Gracias de todo corazón eso nunca lo olvidare me dieron mucha fortaleza, seguridad, apoyo y todavía la mantengo conmigo.

**A mi inseparable amigo: Ing. Cesar Sandoval Hernández** Gracias por tu apoyo en mis momentos más difíciles, tu amistad incondicional, sobretodo nunca dejaste que me alejara de este sueño que gracias a ti hoy es una realidad, Un verdadero amigo es aquel que entra cuando todos los demás se van, Un amigo es alguien que está contigo porque le necesitas, Un amigo es el que a pesar de las distancia se acuerda de los momentos importantes que vivieron, sobretodo me siento orgulloso de ti por que cada día demuestras ser un verdadero hermano para mí. Con todo mi aprecio carnal.

**Ing. Víctor Manuel Martínez Hernández:** Por todo su apoyo que brindo en mí, durante mi formación profesional, sus buenos consejos y la gran oportunidad que usted deposito en mí, siendo así uno de mis máximos logros como profesionista y mostrándome el camino para llegar a ser un ingeniero de calidad y abrir mi panorama laboral para alcanzar una tan brillante carrera como es la de usted. Gracias ingeniero.

## **A MI INSTITUCIÓN:**

A la institución mas grande que este país viera nacer. Casa de gente con hambre de conocimiento y sabiduría. Que me permitiera crecer como hombre y estudiante haciéndome sentir... “LA VIRTUD Y EL ORGULLO DE SER UNIVERSITARIO” GRACIAS UNAM.

## **A MI ESCUELA:**

A la FACULTAD DE INGENIERIA: A la escuela que me permitió dar un paso más en mi vida, otorgándome en cada una de sus aulas la conciencia de la carrera más noble que pudiera haber elegido “LA INGENIERÍA CIVIL”.

**A M. Ing. Sergio Macuil Robles:** Por el apoyo brindado para la elaboración de este trabajo, por sus enseñanzas, ideas y conocimientos compartidos así como su apoyo en todo momento para hacer de esto una realidad. Gracias

**AL Ing. Luis Zarate Rocha:** Por la oportunidad de elaborar mi trabajo de tesis en una entidad como lo es ICA, proporcionando todo el apoyo necesario para la culminación de nuestros estudios profesionales.

**A mi amigo Víctor Hugo Nava Serrano:** Gracias por todos los logros tan grandes de los cuales me hiciste participe, por los grandes triunfos en la cancha, por mostrarme el camino hacia mi futuro, tu amistad, tu apoyo, consejos, así como cada uno de los momentos que en la facultad de ingeniería tuve la oportunidad de compartir en tan grande compañía, eso nunca lo voy olvidar. Gracias panchito.

**A mis amigos:** las personas que de una u otra manera han dejado en mi una huella de duda y conocimiento, gracias por darme una luz de pensamiento y enseñarme a no cometer los mismos errores y a corregir el camino. Alejandro Ramírez Sáldivar, Daniel huerta, Alejandro Acosta Aguilera, Alberto García Jaime Pérez Peñalosa, Víctor Hernández López, Christopher Monreal Gorostieta, Rafael Ortiz, Herzain córdoba Camacho, Carlos Rivera Chávez todos y cada de uno de ustedes que día con día me apoyan a realizar todos mis sueños.

Gracias muchas gracias.

# INDICE

PAGINA

## CAPITULO 1

<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>1</u>
<u>1. ANTECEDENTES</u>	<u>1</u>
<u>1.1 ¿QUÉ ES UN ELEMENTO ESTRUCTURAL?</u>	<u>4</u>
<u>1.2 TIPOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES</u>	<u>6</u>
<u>1.2.1 LA BARRA</u>	<u>6</u>
<u>1.2.2 LA PLACA</u>	<u>9</u>
<u>1.2.3 LOS SOLIDOS</u>	<u>11</u>
<u>1.2.4 LOS CABLES</u>	<u>12</u>
<u>1.2.5 EL ARCO</u>	<u>13</u>
<u>1.3 QUÉ ES UN ELEMENTO PREFABRICADO</u>	<u>14</u>
<u>1.4 TIPO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS</u>	<u>14</u>
<u>1.4.1 TRABE TIPO T Y DOBLE T</u>	<u>16</u>
<u>1.4.2 TRABE TIPO AASHTO</u>	<u>19</u>
<u>1.4.3 TRABE TIPO CAJÓN</u>	<u>21</u>
<u>1.4.4 LOSAS PLANAS ALIGERADAS</u>	<u>22</u>
<u>1.4.5 LOSAS PLANAS MACIZAS</u>	<u>23</u>
<u>1.4.6 LOSAS APOYADAS SOBRE TABRES COLADAS EN SITIO</u>	<u>24</u>
<u>1.4.7 LOSAS APOYADAS SOBRE TRABES PREFABRICADAS</u>	<u>25</u>
<u>1.5 NORMATIVIDAD APLICADA A LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS</u>	<u>27</u>
<u>1.5.1 REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL D.F.</u>	<u>28</u>
<u>1.5.2 NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS APLICADAS A PREFABRICADOS</u>	<u>29</u>
<u>1.5.3 NORMA MÉXICANA ONNCCE</u>	<u>30</u>
<u>1.6 ¿QUÉ ES UN PROCESO DE CALIDAD?</u>	<u>31</u>

## CAPITULO 2

<u>2.1 CRITERIOS DE DISEÑO</u>	<u>33</u>
<u>2.1.1 ¿POR QUÉ CONCRETO PRESFORZADO?</u>	<u>43</u>
<u>2.1.2 CONCRETO PRESFORZADO</u>	<u>44</u>
<u>2.1.3 MÉTODO DEL POSTENSADO</u>	<u>45</u>
<u>2.1.4 TIPOS DE ACERO UTILIZADOS PARA EL CONCRETO PRESFORZADO</u>	<u>46</u>
<u>2.1.5 EL CABLE TRENZADO</u>	<u>47</u>

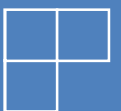
<b>2.2 PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>50</b>
<b>2.2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES DE SITIO</b>	<b>51</b>
<b>2.2.2 ANÁLISIS DE ESTUDIO DE CIMENTACIÓN</b>	<b>51</b>
<b>2.2.3 CONEXIONES DE ESTRUCTURAS POSTENSADAS</b>	<b>54</b>
<b>2.2.4 CONEXIONES COLUMNA-TRABE, COLUMNA- ZAPATA</b>	<b>55</b>
<b>2.2.5 PRETENSADO</b>	<b>62</b>
<b>2.2.6 POSTENSADO</b>	<b>63</b>
<b>2.2.7 EQUIPO E INSTALACIONES</b>	<b>65</b>
<b>2.2.8 MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>66</b>
<b>2.3 PROCESOS DE TRANSPORTE</b>	<b>83</b>
<b>2.4 PROCESOS DE MONTAJE</b>	<b>85</b>
<b>2.4.1 TIPOS DE IZAJE</b>	<b>86</b>
<b>2.4.2 TOLERANCIAS</b>	<b>88</b>
<b>2.4.3 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN EL MONTAJE</b>	<b>91</b>
<b>2.5 BENEFICIOS</b>	<b>93</b>
<b>2.5.1 VENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO</b>	<b>93</b>
<b>2.5.1 DESVENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO</b>	<b>94</b>
<b><u>CAPITULO 3</u></b>	
<b>3.1 PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD EN LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS</b>	<b>98</b>
<b>3.2 PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS UTILIZADOS EN SU FABRICACIÓN</b>	<b>100</b>
<b>3.3 PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS UTILIZADOS EN SU TRANSPORTE</b>	<b>104</b>
<b>3.4 PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS UTILIZADOS EN SU MONTAJE</b>	<b>108</b>
<b><u>ANEXOS</u></b>	
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>113</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>116</b>

2012

# Capitulo 1

## Antecedentes

- 1.1 Qué es un elemento estructural
- 1.2 Tipos de elementos estructurales
- 1.3 Qué es un elemento Prefabricado
- 1.4 Tipo de elementos Estructurales Prefabricados
- 1.5 Normatividad aplicada a los Elementos Estructurales Prefabricados
- 1.6 Que es un Proceso de Calidad





# INTRODUCCIÓN:

## I. ANTECEDENTES

Esta tesis está enfocada al proceso constructivo aplicado a elementos prefabricados utilizados en el viaducto elevado. Contiene en resumen las etapas que se elaboran para la fabricación, transporte y montaje de un elemento prefabricado, y se pondrá énfasis en los diferentes tipos de materiales que se utilizan en su fabricación, sus características principales y sistemas de calidad que deben cumplir los elementos prefabricados.

Existe hoy en día una gran demanda de infraestructura, debido a que en México, el desarrollo de caminos y edificaciones son necesarios para el crecimiento del país económicamente, es por eso que nos surge la inquietud de realizar procesos constructivos eficientes, que nos ayuden en tiempo y costo para beneficio de la obra.

La prefabricación es un método avanzado y actual de la construcción de estructuras de concreto armado. La prefabricación significa que la estructura está formada por piezas y que estas están prefabricadas bien en talleres construidos y equipados especialmente para este objetivo, bien o en instalaciones provisionales establecidas al pie de la obra. Las piezas prefabricadas de concreto presforzado se transportan al lugar en el que van a ser empleadas donde son elevadas hasta su posición definitiva y unidas para formar la estructura.

Además de la construcción de estructuras modernas de concreto presforzado, el uso de elementos prefabricados ofrece la disponibilidad de desarrollar y simplificar la construcción de estructuras modernas de concreto armado, el uso de este tipo de elementos ofrece la posibilidad de desarrollar y simplificar la construcción, y así facilita la introducción de nuevos métodos tecnológicos. En comparación con el método anterior de construcción monolítica, estas posibilidades suponen un ahorro considerable de mano de obra, horas de trabajo y materiales.

El método tradicional para la construcción de estructuras de concreto presforzado tiene el carácter de la industria artesana. El prefabricado por otra parte promueve la introducción de métodos usados en la producción en serie, una mayor mecanización y mejor organización del trabajo, no solamente en las fábricas permanentes sino también en los talleres provisionales.

En la competición entre las estructuras prefabricadas y monolíticas, la prefabricación va aumentando su ventaja porque va acompañada de una mejora de calidad, mientras que las exigencias respecto a los materiales plazo y costo muestran una tendencia decreciente.

El desarrollo de la prefabricación fue además estimulado por la carencia de la madera, en casi todo el mundo, de acuerdo con la experiencia, el coste de las estructuras monolíticas de concreto armado se distribuyen en tres partes aproximadamente iguales: el coste del concreto, la armadura, el encofrado y los andamios. Para grandes edificios el costo del encofrado y los andamios puede incluso alcanzar el 60% del coste total. Por tanto, deben buscarse soluciones para disminuir estos costos considerables de los elementos que se acaban de mencionar, debido principalmente al gran consumo de madera. La prefabricación de estructuras de concreto armado es una solución apropiada para este propósito. Mediante la prefabricación puede eliminarse casi totalmente el uso de madera en andamios, mientras que la necesaria para cimbras y la pérdida de madera pueden disminuirse en un tercio aproximadamente de la cantidad necesaria para una estructura monolítica análoga.

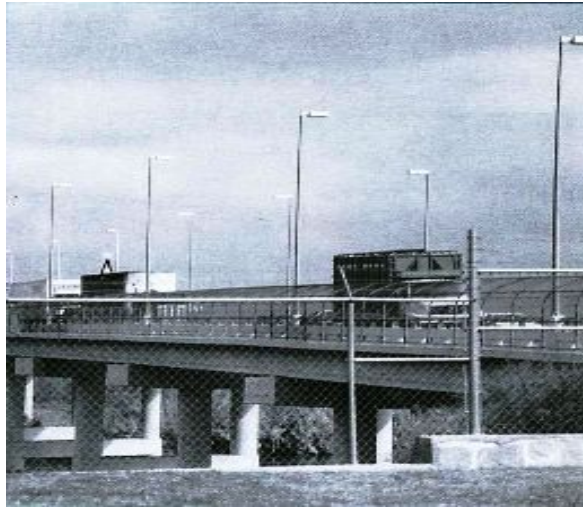
La introducción y desarrollo de la prefabricación suponen un gran cambio en la totalidad de la industria de la edificación. A causa de su desarrollo y mejora constantes, las estructuras de concreto prefabricado pueden ahora competir con las de acero, incluso en lugares donde se dispone de acero en grandes cantidades. Hoy por hoy la prefabricación ya no es un recurso justificado solamente por la disminución del consumo de madera si no que se ha convertido en un método nuevo y avanzado para la construcción de estructuras modernas de concreto presforzado.

En nuestros días las estructuras prefabricadas se emplean en todo el mundo, siendo su importancia cada vez mayor. Su desarrollo puede considerarse de gran interés para la economía nacional, representando la industria de la construcción un porcentaje muy grande del producto interno bruto del país.



El concreto presforzado ha demostrado ser técnicamente ventajoso, económicamente competitivo, y estéticamente superior para puentes, esto es para estructuras de claros muy cortos que emplean componentes prefabricados estándar, hasta las traveses atirantadas con cables y las traveses de sección cajón continuas con longitudes de claros grandes. Casi todos los puentes de concreto son ahora presforzados. Se puede usar el precolado, la construcción colada en obra, o una combinación de los dos métodos, se emplea tanto el pretensado como el postensado, con frecuencia en el mismo proyecto.

El presfuerzo significa la creación intencional de esfuerzos permanentes en una estructura o conjunto de piezas, con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio y de resistencia. Los principios y técnicas del presfuerzo se han aplicado a estructuras de muchos tipos y materiales, la aplicación más común ha tenido lugar en el diseño del concreto estructural. Se resaltan las características del concreto, el acero de presfuerzo y de refuerzo que en combinación permite incrementar en gran manera la resistencia del concreto, para dar innumerables soluciones a los problemas de ingeniería de puentes y de Edificación industrializada.



El concepto original del concreto presforzado consistió en introducir en vigas suficiente precompresión axial para que se eliminaran todos los esfuerzos de tensión que actuarán en el concreto. Con la práctica y el avance en conocimiento, se ha visto que esta idea es innecesariamente restrictiva, pues pueden permitirse esfuerzos de tensión en el concreto y un cierto ancho de grietas.



## 1.1 Qué es un elemento estructural

Un elemento estructural Es cada una de las piezas que forman parte de una estructura, posee un carácter unitario y se muestra de la misma manera bajo la acción de una carga aplicada. También llamada miembro estructural, pieza estructural. El diseño y comprobación de estos elementos se hace de acuerdo con los principios de la ingeniería estructural y la resistencia de materiales.

Otra definición de elemento estructural sería la siguiente:

Se conoce como elemento estructural a las diferentes partes en que se puede dividir una estructura respecto a su diseño. El trazo de estos elementos se lleva a cabo siguiendo los principios de la resistencia de materiales y de la ingeniería estructural. Cada uno de los elementos estructurales poseen nombres propios que los identifican, estos habitualmente cambian según el país. Ahora bien, estos elementos se pueden clasificar siguiendo los tres criterios principales, que son:

- Forma geométrica y/o posición.
- Dimensionalidad del elemento.
- Estado tensional y/o solicitaciones predominantes.



Un tipo de elemento son los lineales, los cuales también son llamados prismas mecánicos o unidimensionales. Estos son alargados y son sometidos a un estado de tensión plana. Son muchos los elementos lineales que existen, pero los más comunes atendiendo a su forma y a su posición son:

- Horizontales, flexionados y rectos: en donde se pueden apreciar zapata corrida, viga, correa de sustentación o arquitrabe.
- Verticales, comprimidos y rectos: como son los pilares, la columna, y el pilote.
- Flexionados y curvos: donde entran los arcos continuos y las vigas balcón

- Diagonales y rectos: que corresponden a las barras diagonales de una celosía, a las barras de arrojamiento de cruces, etc.

Por otra parte están los elementos bidimensionales que poseen una dimensión o espesor menor que las demás. Estos se dividen según su forma en:

- Horizontales, flexionados y planos: que corresponden a las plateas, a las losas de cimentación y a los forjados.
- Flexionados y curvos.
- Verticales, flexionados y planos: que involucra a los muros de contención.
- Traccionados y curvos.

Por último están los elementos tridimensionales los cuales poseen estado de tensión biaxial o triaxial. En estos se pueden distinguir las zapatas y las mensuras de sustentación. Todos estos elementos estructurales son diseñados atendiendo una serie de criterios como son; los de resistencia, los de estabilidad, los de funcionalidad, y los de rigidez. También es de suma importancia conocer las siguientes definiciones para el estudio los Elementos Estructurales.

**Elemento primario:** En un sistema estructural, miembro o elemento que es esencial para la estabilidad del conjunto estructural. También llamado miembro primario.

**Esfuerzo de apoyo:** Cociente entre la carga de una superficie de apoyo y su área.

**Esfuerzo cortante horizontal:** Esfuerzo cortante que se desarrolla a lo largo de un elemento estructural que es sometido a cargas transversales, que es igual al esfuerzo cortante vertical en ese mismo punto. También llamado esfuerzo cortante longitudinal.

**Esfuerzo cortante longitudinal:** Esfuerzo cortante que se desarrolla a lo largo de un elemento estructural que es sometido a cargas transversales, que es igual al esfuerzo cortante vertical en ese mismo punto. También llamado esfuerzo cortante horizontal.

**Esfuerzo axial:** Esfuerzo que es perpendicular al plano sobre el que se aplica la fuerza de tracción o compresión, que es distribuido de manera uniforme por toda su superficie. También llamado esfuerzo normal.

**Esfuerzo normal:** Esfuerzo que es perpendicular al plano sobre el que se aplica la fuerza de tracción o compresión, que es distribuido de manera uniforme por toda su superficie. También llamado esfuerzo axial.



**Viaducto elevado línea 12 del metro**

## **1.2 Tipos de elementos estructurales**

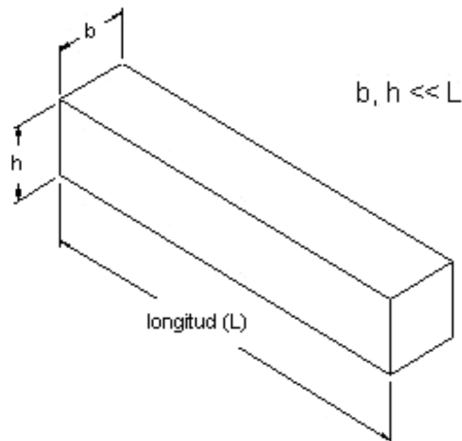
En el campo de la ingeniería civil podemos encontrar elementos de diferentes tipos. Tomando en cuenta que la estructura a modelar, será un conjunto de elementos estructurales dispuestos de cierta manera (arreglo) y que tienen un fin determinado. Dicho fin, desde el punto de vista estructural puede ser soportar fuerzas y evitar o disminuir la respuesta de la estructura a ciertos límites, es decir, los desplazamientos, deformaciones, agrietamientos y vibraciones que esta va tener como producto de las acciones.

Los elementos estructurales de uso común son los siguientes:

- Barra (vigas, traveses, diagonales, contratraveses, columnas y castillos)
- Placa (muros, losas y rampas)
- Solido (dados, contrafuertes, muertos de anclaje, cabezales de puentes)
- Cable (tensores)

### **1.2.1 La Barra:**

Es un elemento estructural en donde dos de sus dimensiones son mucho menores que la tercera (longitud), puede ser de geometría regular (prismática) o irregular (sección variable) para fines de análisis una barra la podemos representar mediante la línea (su eje) con ciertas propiedades. Si las propiedades geométricas no varían, se dice que es de sección constante. Se considera Barra a todo elemento lineal de forma y materiales indeterminados. Su representación esquemática se realiza a través de su directriz o eje.

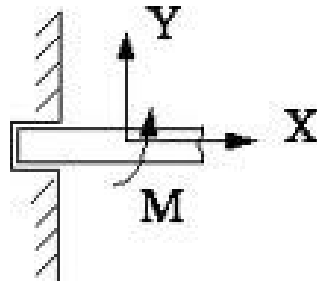


**Barra de sección constante**



**Sección:** de un cuerpo u objeto es el corte del mismo realizado a través de su plano longitudinal o transversal. En estructuras lo definimos como sección de una barra al corte de la misma a través de un plano perpendicular a su directriz. Una barra se define, por su forma, a través de su sección.

**Canto:** Toda sección tiene dos direcciones principales: X e Y. La base de la sección determina la dirección X, y la altura de la sección determina la dirección Y. De manera que, se define como canto de una sección a la dirección Y, es decir su altura, respecto de su plano horizontal dado por la dirección X. Como está referido a su plano horizontal, el plano X, al girar la sección, cambia la base y por ende cambia el canto.



**Nudo:** El nudo es el medio de unión de dos o más barras. Según sea el medio de unión utilizado: apoyo simple, apoyo deslizante, empotramiento o articulación, las barras reciben la calificación de apoyadas, empotradas o articuladas, de acuerdo al caso.

**Resistencia y Deformabilidad de una Barra:** Observemos los tablones de madera que se utilizan en obra, varios de ellos colocados planos forman los andamios estructurales.

Al cargar peso sobre los mismos, se deforman considerablemente. En cambio, si giramos el mismo tablón, apoyando el grueso del tablón, como por ejemplo en las zancas de una escalera, el tablón puede resistir cargas mucho más pesadas.

El tablón utilizado en ambos casos es de madera, de sección rectangular constante y de la misma longitud. Solo se ha modificado su posición con respecto al canto, es decir su plano horizontal. De esta observación deducimos que: A Mayor Canto, Mayor Resistencia. El tablón resiste las cargas en los dos casos pero no se deforma de la misma manera, por tanto: A Mayor Canto, Menor Deformación. Por lo expresado anteriormente vemos entonces que resistencia y deformación están íntimamente ligadas. Y cuando ya no es capaz de deformarse más, se rompe.

Cuando una barra es capaz de deformarse, diríamos que está viva, soporta ciertos Esfuerzos; por lo cual se deforma al aparecer la carga y recupera su forma original cuando se quita la carga que ha producido la deformación.

**Flecha y Contraflecha:** Veamos el tablón, apoyado sobre barras, como adopta una forma distinta a la original cuando está sometida a una carga central. Tomando un cordel y fijando sus puntas a cada extremo del tablón, vemos que al tensarlo podemos medir la deformación sufrida en relación a la horizontal (llamada tendel). A ese valor lo llamamos Flecha.



### **Flecha y Contraflecha de un elemento estructural**

Supongamos que podemos darle al tablón una deformación inicial contraria a la anterior, es decir una contraflecha. Observamos que al someter al tablón con la misma carga que antes, la deformación ahora, es nula.

Dando una flecha negativa se consigue mejorar las características resistentes de una barra determinada. Esto es justamente lo que hace el pretensado y postensado.

Por lo expuesto, decimos que: A mayor inercia, mayor resistencia, por lo tanto, menor deformación. La resistencia, la deformación y la inercia están íntimamente relacionadas. Para ejemplificar lo anterior, podemos ver las siguientes fotografías en las que se muestran las características de un elemento barra. En la Fotografía vemos un arreglo de vigas. En las Fotografías, observamos algunas columnas, que como sabemos, su posición es vertical.



Vigas



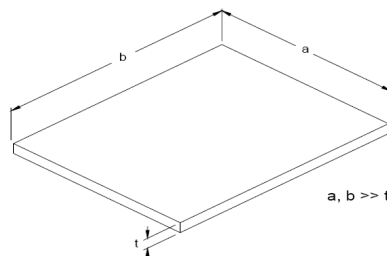
Columnas



Columnas

**1.2.2 La placa:** Es un elemento estructural donde dos de sus dimensiones son mayores que la otra, siendo ésta el espesor. Recibe los nombres específicos de losa, que pueden ser macizas o aligeradas, muros, de carga o divisorios y rampas.

Mediante arreglos verticales (muros) y horizontales (losas) se pueden formar sistemas de diversas características, los que en general se pueden denominar tipo cajón. La sobreposición de placas simplemente apoyadas en una sola dirección y muros, integra un sistema equivalente al poste y el dintel y que tiene limitaciones semejantes.



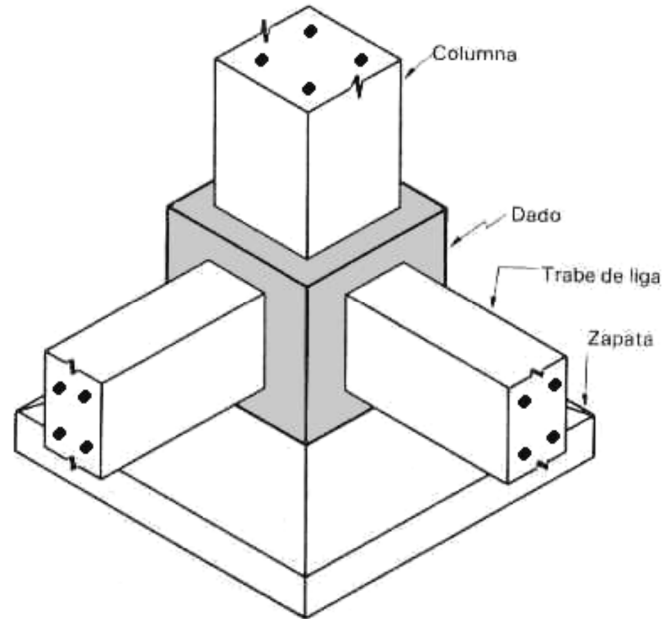
La falta de continuidad en los apoyos lo hace muy vulnerable ante acciones accidentales que pueden introducir tensiones verticales o esfuerzos cortantes en la conexión. La principal limitación es la escasa resistencia a cargas laterales que deben ser resistidas por flexión normal al plano de los muros: por los espesores normalmente delgados de los muros, estos resultan débiles a flexión. El sistema fue muy empleado en edificios de varios pisos a base de muros de carga de mampostería en zonas no sísmicas, pero se tenía que recurrir a espesores cada vez más exagerados a medida que crecía el número de pisos. Si se obtiene la continuidad en las conexiones muro-losa, se logra una acción de marco con la cual se reducen los momentos y las deflexiones de la losa, pero se introducen flexiones en los muros ante cargas verticales. Esta solución es posible en materiales que presentan resistencia a tensión, como el concreto reforzado o el acero. Ante cargas laterales, la acción de marco proporciona cierta rigidez y resistencia; sin embargo, el sistema resulta en general poco eficiente debido a que los momentos de inercia de los elementos placa son pequeños por su espesor reducido. El arreglo ideal para elementos placa es un sistema tipo cajón tridimensional. La losa se apoya en su perímetro con lo que su rigidez y resistencia ante cargas verticales aumentan notablemente. La ventaja más importante es que, existen elementos verticales en dos direcciones ortogonales, las fuerzas laterales en una dirección cualquiera son resistidas por los muros mediante de las fuerzas en su plano, para lo cual poseen gran rigidez y resistencia.

Las cargas verticales se transmiten a la cimentación esencialmente por fuerzas axiales en los muros, los momentos flexionantes transmitidos por las losas son en general pequeños por ser estas de claros reducidos y con apoyo en dos direcciones. Las cargas laterales se resisten como se ha dicho por flexión de los muros en su plano. Si la relación altura a longitud de los muros es pequeña predominan las deformaciones de cortante en el comportamiento de los muros, de lo contrario las deformaciones son debidas principalmente a flexión de los muros, que funcionan como voladizos verticales. El sistema tipo cajón es claramente tridimensional y con frecuencia no se presta a ser dividido en subsistemas bidimensionales, especialmente cuando los muros no son placas rectangulares separadas, sino que tienen geometrías irregulares formando a veces secciones de tipo tubular. Este tipo de estructuración es el común en los edificios a base de muros de carga alineados en dos direcciones ortogonales. Se emplean muros de mampostería y losa de concreto o muros y losa de concreto, esto último principalmente con elementos prefabricados, para los cuales es particularmente crítico el diseño de las conexiones.



**Losa maciza en proceso de construcción**

**1.2.3 Los sólidos:** Son elementos estructurales en los que ninguna de sus dimensiones es mucho mayor que el resto de ellas. En las cimentaciones se pueden observar elementos de este tipo como los dados. Algunos sólidos también se les llaman muertos de anclaje.



**Dado en cimentación de concreto**

Estos son los tipos de elementos estructurales más utilizados en el ámbito en la construcción, de estos se desprenden en diferentes combinaciones para cumplir los diferentes requerimientos estructurales necesarios en la obra para su seguridad.



**Combinación de elementos estructurales**

**1.2.4 Cables:** Se presentan en obras de ingeniería como estructuras o como elementos de sistemas mecánicos o estructurales, y los podemos encontrar, por ejemplo, en puentes, en teleféricos y en líneas de transmisión. Los cables son de materiales metálicos, fibras vegetales o fibras sintéticas, siendo los de uso más frecuente en ingeniería los metálicos (acero).

Son estructuras especialmente apropiadas para cubiertas de grandes luces con materiales ligeros, donde el elemento estructural esencial es el cable y el esfuerzo fundamental es el de tracción. A causa de ser estructuras solicitadas exclusivamente por simple tracción, son los sistemas más económicos para cubrir un espacio atendiendo a la relación peso-luz.

Nota: El cable sólo puede soportar tracciones.



**Puente Tampico (México)**



**Ciudad de México (aeropuerto internacional)**



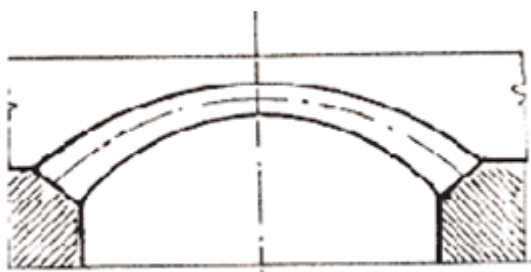
**1.2.5 ARCO:** El elemento estructural también utilizado es el arco, que puede ser de tipo parabólico o circular. Son construidos de mampostería o concreto y utilizados en diversas obras de ingeniería, tales como acueductos, casas, puentes y otras.



(Izquierda) Acueducto Zempoala-Otumba (Hidalgo – Edo. de México)  
(Derecha) Uso del arco, puente Facultad de Ingeniería UNAM.

Los arcos: Los elementos estructurales que sirven para salvar los Espacio sin ladrillos que se deja para colocar puertas o ventanas frecuentemente son de eje recto, pero también pueden serlo de eje curvo. Una tipología característica es el arco de tres articulaciones. Para las denominaciones de las estructuras utilizamos determinados aspectos significativos, como por ejemplo:

- La forma fundamental, por ejemplo: arco
- Los apoyos, por ejemplo: empotramiento, articulación fija, etc.
- El tipo de nudos, por ejemplo: rígido, articulado.



Arco con extremos empotrados



Arco con extremos articulados fijos

### **1.3 Que es un elemento prefabricado**

Es unas piezas estructurales en su mayoría elaboradas en planta o sitio de grandes dimensiones para claros muy extensas, fachadas de edificios, etc. Elaborados a base de cemento, agua y agregados. Puede llevar aditivos y acero de presfuerzo, su forma sensiblemente ortoédrica, facilita su construcción en serie debido a la producción tipo industrializada, ya que se generan grandes moldes para su elaboración y por esta característica pueden fabricarse mas fácilmente, en costo y tiempo representa un gran avance en comparación con los métodos tradicionales y cumple con estándares de calidad muy estrictos debido a la calidad en sus materiales y su sistema constructivo.

### **1.4 Tipo de elementos Estructurales Prefabricados**

#### **Clasificación de Elementos Prefabricados**

Este capitulo estudia el proceso constructivo de las trabes prefabricadas simplemente apoyadas. Se emplean las normas existentes en el Distrito Federal y en los aspectos definidos se emplean las normas técnicas complementarias. La Gran variedad de productos que ofrecen las empresas asociadas al Mercado de la Construcción, son infinitas; van desde soluciones integrales de la estructura y las fachadas prefabricadas, hasta productos precolados y elementos prefabricados estructurales para la autoconstrucción los que permiten el desarrollo de construcciones con seguridad estructural y con la calidad que resulta por la utilización de los elementos de Concreto:

- **Precolados**
- **Prefabricados**
- **Pretensados**

El concreto presforzado ha demostrado ser técnicamente ventajoso, económicamente competitivo, y estéticamente superior para puentes, esto es para estructuras de claros muy cortos que emplean componentes prefabricados estándar, hasta las trabes atirantadas con cables y las trabes de sección cajón continuas con longitudes de claros grandes. Casi todos los puentes de concreto son ahora presforzados. Se puede usar el precolado, la construcción colada en obra, o una combinación de los dos métodos, se emplea tanto el pretensado como el postensado, con frecuencia en el mismo proyecto.

Existen diferentes tipos de trabes de acuerdo a la forma de la sección de la superestructura:

- Trabes cajón
- Trabes I AASHTO
- Vigas T
- Losas planas aligeradas
- Losas planas macizas
- Losas apoyadas sobre trabes coladas en sitio
- Losas apoyadas sobre trabes prefabricadas
- Losas apoyadas en vigas de acero, etc.

Según peso y dimensiones

Según el peso y las dimensiones de las piezas prefabricadas, se pueden clasificar en:

- Prefabricados Livianos

Son los pequeños elementos prefabricados o ligeros, de peso inferior a los 30 kg, destinados a ser colocados de forma manual por uno o dos operarios.

- Prefabricados Semipesados

Su peso es inferior a los 500 kg, destinados a su puesta en obra utilizando medios mecánicos simples a base de poleas, palancas, malacates y barretas.



- Prefabricados Pesados

Su peso es superior a 500 kg, requiriéndose para su puesta en obra, maquinaria pesada tales como grúas de gran porte.

### **Según su forma**

Según sea su forma, las piezas prefabricadas pueden clasificarse en:

- Bloques

Son elementos prefabricados para construcción de muros. Son autoestables sin necesitar de apoyos auxiliares para su colocación. Por ejemplo: bloques de hormigón, bloques de ladrillo hueco, etc.

- Paneles

Los paneles constituyen placas cuya relación entre grosor y superficie es significativa. Por ejemplo: muros de contención, antepechos, placas de fachadas, placas de yeso, etc.

- Elementos Lineales

Son piezas esbeltas, de sección transversal reducida en relación a su longitud. Por ejemplo: vigas, columnas, pilotes, etc.

Según materiales

Las estructuras prefabricadas se pueden ejecutar con cualquier material estructural, por ejemplo:

- Concreto Armado
- Concreto Pretensado
- Concreto Postensado
- Acero
- Aluminio
- Madera
- Plástico
- Combinación entre los nombrados

## **Elementos Estructurales**

En las últimas décadas la construcción de Puentes en México ha mostrado un incremento sustancial, por lo cual se ha presentado la necesidad de diferentes tipos de vigas de concreto presforzado. Hay muchas empresas que se dedican a la construcción de elementos prefabricados, operan con plantas portátiles brindando servicio a pie de las obras donde se requiera cualquier tipo de vigas coladas en sitio usando el sistema de pretensado o postensado. La industria del prefabricado de concreto pretensado crece hoy mas que nunca gracias al avance tecnológico alrededor del mundo, su presencia genera grandes cantidades de proyectos y construcciones. El uso de esta clase de elementos en obra civil representa una inversión de calidad y economía en el proceso constructivo.

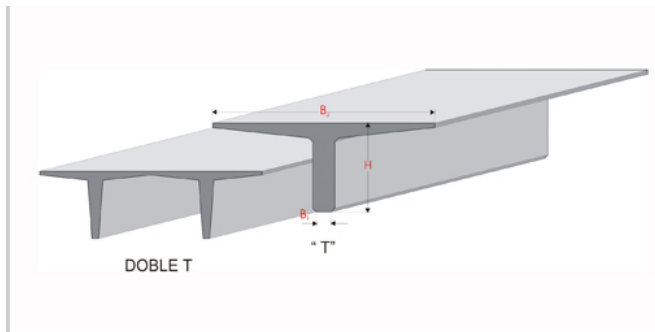
La prefabricación de elementos pretensados, el transporte y montaje de los mismos obedecen a un sistema controlado de ejecución dando como resultado un menor margen de error en presupuestos y programas de obra, dejando como valor agregado la calidad de sus construcciones. El análisis de presupuestos de prefabricados de concreto pretensado es un tema que involucra planeación logística, estratégica y administrativa de procesos. La administración del área de presupuestos de las empresas constructoras toma otro esquema de análisis para proyectos de concreto prefabricado, por la sistematización que se refleja en cada proyecto. Los costos que involucran la fabricación en planta, los traslados y ejecución de una obra (montando y realizando conexiones), es una especialidad más aplicada a la ingeniería de nuestros días y los sistemas de administración pueden ser aplicados al elaborar presupuestos y es lo que demostraremos al aplicar este método empírico.

## **POR TIPO DE ELEMENTO:**

### **1.4.1 Trabe tipo “T y doble T “**

Es un elemento estructural de concreto presforzado diseñado para salvar claros con capacidad para soportar diversas sobrecargas. Por sus características de utilización, la sección "T" le permite una gran libertad en el diseño de proyectos. La sección “T” utiliza comúnmente en sistemas de entrepisos, cubiertas industriales, puentes, muros de fachadas, etc. con claros de hasta 32m. La sección “T” se fabrica en moldes metálicos o en concreto y metal que pueden ser o no autopresforzantes, se curan a vapor.

La sección Doble "T" se utiliza comúnmente en sistemas de entrepisos, estacionamientos, cubiertas industriales, puentes peatonales, muros de retención y muros de fachadas, entre otros. Por lo que se realizan ciclos de colado diario en beneficio de un incremento en la productividad. Estas piezas se fabrican en diferentes anchos hasta 3m, y tanto su peralte como su longitud pueden variar de acuerdo a sus requerimientos.



### Trabes tipo "T" y "Doble T"

Propiedades de secciones de trabes "T" y "Doble T"					
Tipo	H (cm)	B1 (cm)	B2 (cm)	Claro (m)	A (cm <sup>2</sup> )
T	120 max	variable	300	15 a 20	variable
Doble T	90 max	9	300	20 a 25	variable

Sección T Con Firme

SECCION	H CM	B CM	AREA Cm <sup>2</sup>	PESO PROPIO KG/ML
300/60	60	300	5362	1287
300/80	80	300	5818	1396
300/100	100	300	6266	1501
300/120	120	300	6675	1602
250/60	60	250	4489	1072
250/80	80	250	4923	1182
250/100	100	250	5360	1286
250/120	120	250	5778	1387
200/60	60	200	3668	880
200/80	80	200	4121	989
200/100	100	200	4566	1093
200/120	120	200	4973	1194
150/60	60	150	2960	710
150/80	80	150	3410	818
150/100	100	150	3843	922
150/120	120	150	4268	1022
100/60	60	100	2344	563
100/80	80	100	2794	671
100/100	100	100	3223	774
100/120	120	100	3637	873

Tabla T Sin Firme

SECCION	H CM	B CM	AREA Cm <sup>2</sup>	PESO PROPIO KG/ML
300/60	60	300	4300	1032
300/80	80	300	4767	1142
300/100	100	300	5195	1247
300/120	120	300	5615	1348
250/60	60	250	3585	860
250/80	80	250	4039	969
250/100	100	250	4476	1074
250/120	120	250	4894	1175
200/60	60	200	2871	711
200/80	80	200	3414	819
200/100	100	200	3849	924
200/120	120	200	4265	1024
150/60	60	150	2429	583
150/80	80	150	2880	691
150/100	100	150	3313	795
150/120	120	150	3727	894
100/60	60	100	1971	478
100/80	80	100	2440	586
100/100	100	100	2871	689
100/120	120	100	3284	788

## ATRIBUTOS / VENTAJAS de la sección “T y doble T “

- Losas de gran variedad de usos
- Reduce costos, tiempos y mano de obra
- Acabado aparente de concreto
- Sección optimizada
- Alta productividad en la obra
- Producto curado a vapor
- Gran capacidad de sobrecarga
- Fabricación con diversos anchos, peraltes y lagos
- Diferentes acabados en Muros

### USOS:

- LOSA T: Entrepiso, Puente vehicular y peatonal, Cubierta, industrial, Muro de fachada.
- LOSATT: Entrepiso, Muros, Puente vehicular, Funciona como losa y trabe a la vez, Cubiertas para naves industriales, Bodegas, Gimnasios, Escuelas, Clínicas, Centros Comerciales.

### ESPECIFICACIONES: Trabe tipo “T”

- Concreto de 350 kg/cm<sup>2</sup>
- Acero de presfuerzo de fsp=19,000 kg/cm<sup>2</sup>
- Anchos de hasta 3 metros
- Peraltes de hasta 50, 60 y 85 cms

### ESPECIFICACIONES: Trabe tipo “Doble T “

- Concreto de 350 kg/cm<sup>2</sup>
- Acero de presfuerzo de 18,900 kg/cm<sup>2</sup>
- Se pueden fabricar anchos hasta de 3m y con peraltes variables.



**Trabe tipo T Y doble T**

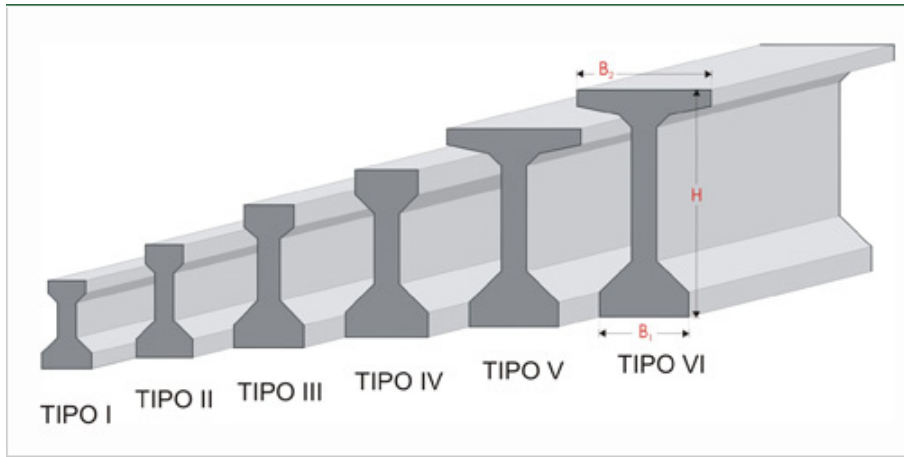


### **1.4.2 Trabe tipo AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).**

Uso puentes y traves portantes: Son elementos estructurales de concreto presforzado Ideales para soportar cargas para puentes en claros hasta de 32m. Su longitud es variable de acuerdo a las necesidades del proyecto. En las plantas se tienen instalaciones fijas para tensado de torones con capacidad de 700 toneladas de fuerza presforzante. Las traves AASHTO pueden ser pretensadas, postensadas o combinadas, se recomienda utilizar el pretensado en traves no mayores de 32m, Ya que su fabricación se realizara en planta industrial, donde se fabrica en moldes metálicos o en concreto y metal que pueden ser o no autopresforzantes, y se cura el concreto a base de vapor, lo que permite ciclos de colado diario en beneficio de un incremento de productividad; su producción se realiza bajo un estricto control de calidad. Las traves AASHTO se utilizan comúnmente en puentes de caminos y pasos a desnivel, salvando vías de ferrocarril, barrancas, ríos, sistemas de entresijos, cubiertas industriales, puentes, muros de fachadas etc. Debido a sus dimensiones se pueden transportar prácticamente a cualquier sitio, una de sus ventajas es el ahorro del tiempo total de ejecución de la obra. Existen diferentes tipos de traves AASHTO desde el tipo I hasta tipo VI la diferencia entre estos elementos son su geometría y longitud de claro. Por sus características geométricas en su utilización, la sección "T" permite una gran libertad en el diseño del proyecto.

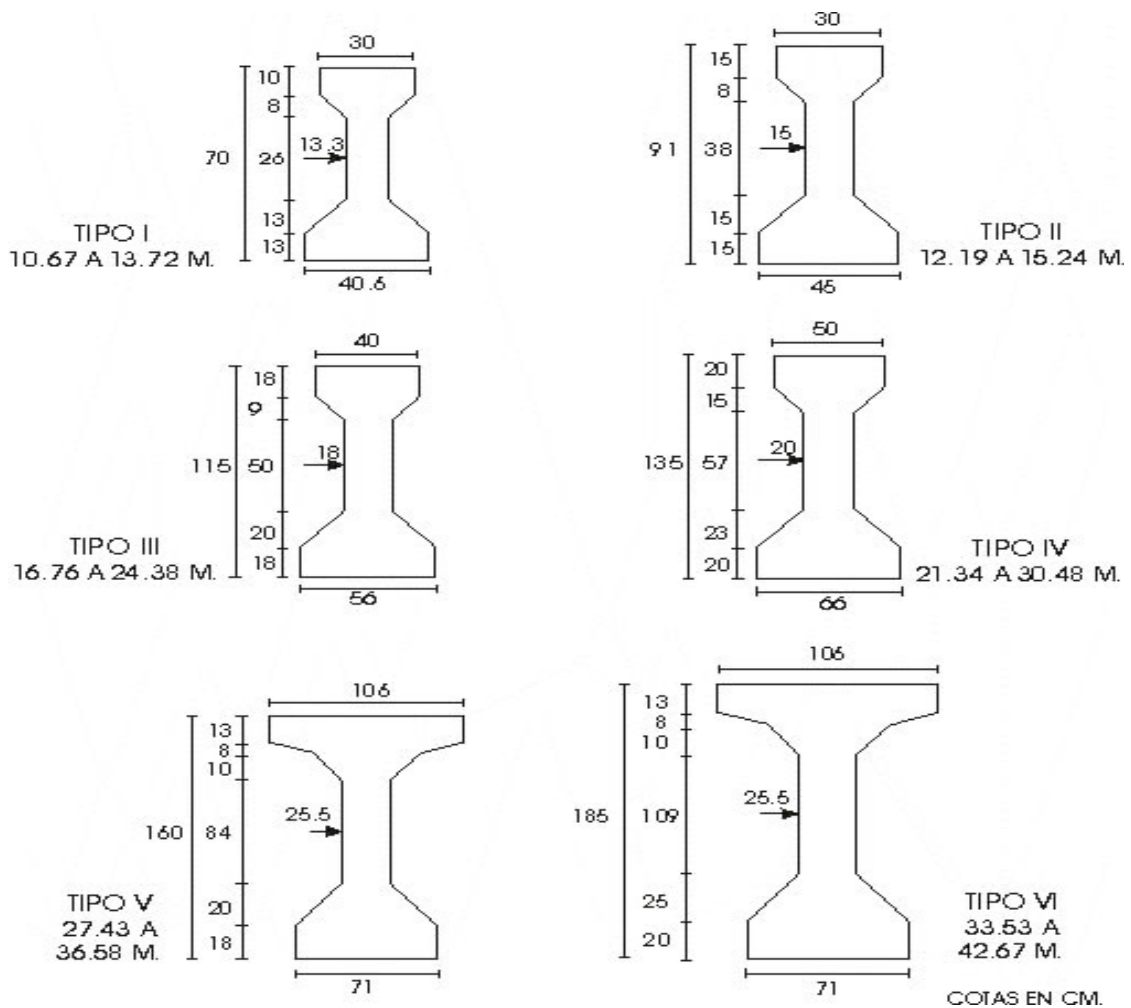
<b>Propiedades de secciones de traves AASHTO para puentes</b>					
<b>Tipo</b>	<b>H (cm)</b>	<b>B1 (cm)</b>	<b>B2 (cm)</b>	<b>Claro (m)</b>	<b>A (cm<sup>2</sup>)</b>
I	71	40	30	10 a 13	1,743
II	91	45	30	12 a 18	2,325
III	115	56	40	16 a 24	3,629
IV	135	66	50	21 a 30	4,974
V	160	71	107	27 a 36	6,463
VI	183	71	107	33 a 42	6,923

### **Características de la trabe AASHTO.**



**Tipo de traves AASHTO**

**Características geométricas y utilización tipo I a la VI.**



### 1.4.3 Trabe tipo cajón

La trabe cajón tiene una losa superior que sirve como cordón de la trabe. La trabe cajón tiene por lo menos dos almas o nervaduras (cajón monocelular) o bien, más de dos almas (cajón multicelular). Las almas están unidas en la parte inferior por una losa. El cajón cerrado se destaca por su gran rigidez a flexión y torsión y por su gran dimensión del núcleo central.

La elevada rigidez a la torsión se aprovecha de diversas formas, por ejemplo para grandes voladizos del patín superior, o para la adopción de pilas intermedias esbeltas, ubicados sólo en el eje medio de la trabe cajón.

Actualmente son considerados para longitudes de claro de 20 a 45 m. Se puede incrementar el claro hasta 60 m con vigas tipo Gerber. Más allá de este rango es probablemente más económico seleccionar con otro tipo diferente de estructuración. Debido a la alta resistencia torsional, una estructura de trabe cajón postensada es apropiada para puentes con curvatura significativa. Para puentes con poca curvatura se pueden usar traveses cajón pretensadas. La inclinación de las almas permite reducir el ancho de la losa inferior. Ya se han ejecutado inclinaciones de alma de hasta 300. Debe prestarse atención a que el alma inclinada hacia fuera transmite el esfuerzo inclinado en su plano a las losas y por ello, ya para el peso propio las losas están sometidas a esfuerzos normales, arriba en forma de tracción transversal y abajo en forma de compresión transversal. La construcción monolítica de la subestructura con la superestructura ofrece ventajas estructurales y también mejora la apariencia. Las cabeceras de las columnas pueden ser colocadas dentro del cajón, para que la superestructura pueda estar rígidamente conectada a la columna formando un empotramiento.

**VENTAJAS DE LAS TRABES CAJÓN:** Alta rigidez torsional y flexionante, comparado con un elemento equivalente de sección abierta. Nervaduras anchas. Debido a esto es posible usar grandes relaciones claro/peralte, lo cual es una ventaja en los casos donde la profundidad de construcción esta limitada. El espacio encerrado dentro de la trabe puede ser útil para el paso de servicios o para otros propósitos. Por ejemplo, en una estructura una subestación eléctrica completa puede ser encerrada dentro de la sección. El mantenimiento es más sencillo que para una trabe equivalente de sección abierta. El espacio interior puede ser herméticamente sellado, y el aire adentro puede secarse para proveer una atmósfera no corrosiva. La apariencia de una trabe cajón es generalmente más atractiva.

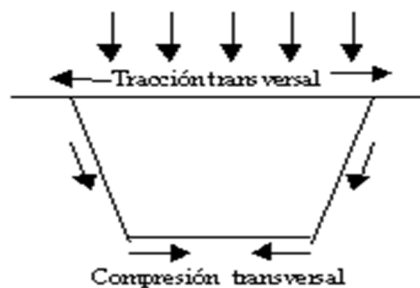


Figura A. Tracción y compresión en una trabe cajón con almas inclinadas

#### **1.4.4 Losas planas aligeradas:**

Losas planas son aquéllas que transmiten las cargas directamente a las columnas, sin la ayuda de vigas. Pueden ser macizas, o aligeradas por algún medio (bloques de material ligero, alvéolos formados por moldes removibles, etc.) También pueden ser de espesor constante o pueden tener un cuadro o rectángulo de espesor menor en la parte central de los tableros, con tal que dicha zona quede enteramente dentro del área de intersección de las franjas centrales y que su espesor sea por lo menos de dos tercios del espesor del resto de la losa, excepto el del ábaco, y no menor de 100 mm. Según la magnitud de la carga por transmitir, la losa puede apoyar directamente sobre las columnas o a través de ábacos, capiteles o una combinación de ambos. En ningún caso se admitirá que las columnas de orilla sobresalgan del borde de la losa.

Las losas aligeradas contarán con una zona maciza adyacente a cada columna de cuando menos 2.5m, medida desde el paño de la columna o el borde del capitel.

Asimismo, contarán con zonas macizas de por lo menos 2.5m adyacentes a muros de rigidez, medidas desde el paño del muro, las cuales deberán ser más amplias si así lo exige la transmisión de las fuerzas sísmicas entre losa y muro. En los ejes de columnas deben suministrarse nervaduras de ancho no menor de 250 mm; las nervaduras adyacentes a los ejes de columnas serán de por lo menos 200 mm de ancho y el resto de ellas de al menos 100 mm.

En la zona superior de la losa habrá un firme de espesor no menor de 50 mm, monolítico con las nervaduras y que sea parte integral de la losa. Este firme o capa maciza debe ser capaz de soportar, como mínimo, una carga de 10 kN (1000 kg) en un área de 100×100 mm, actuando en la posición más desfavorable. En cada entre-eje de columnas y en cada dirección, debe haber al menos seis hileras de casetones o alvéolos. La losa se revisará como diafragma con los criterios de la sección 6.6, a fin de asegurar la correcta transmisión en su plano de las fuerzas de inercia generadas por el sismo a los elementos verticales resistentes.

#### **1.4.5 Losas planas macizas:**

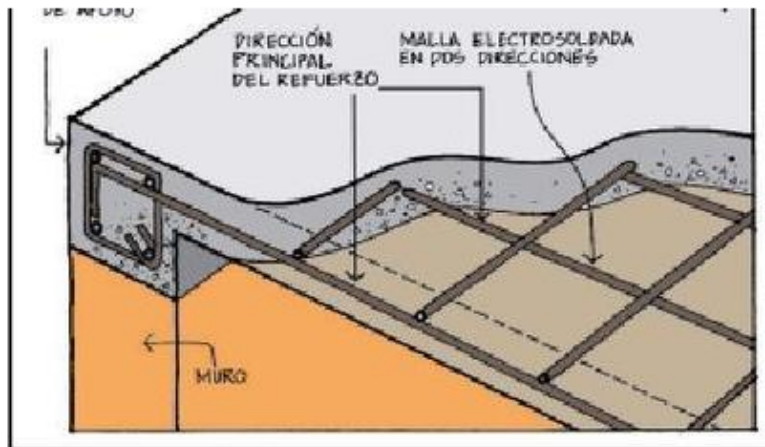
Es un sistema muy eficiente y económico, y en la actualidad es el sistema más utilizado para construcciones de múltiples pisos tales como, hoteles, dormitorios, edificios de departamentos y hospitales. En comparación con otros sistemas de entrepiso/cubierta de hormigón, las placas planas se pueden construir en menos tiempo y con menores costos de mano de obra debido a que el sistema utiliza los encofrados y disposiciones de armadura más simples posibles. El uso de las placas planas también representa otras importantes ventajas económicas. Por ejemplo, debido a la escasa altura del sistema de entrepiso, la altura de piso se reduce automáticamente, lo cual da por resultado tabiques exteriores y conductos para tuberías y servicios de menor altura total; tabiques no estructurales de menor altura; una reducción de las longitudes de las tuberías para instalaciones sanitarias y sistemas contra incendio; y otros múltiples componentes que afectan el costo de una construcción. Son elementos estructurales de concreto armado, de sección transversal rectangular llena, de poco espesor y abarcan una superficie considerable del piso.

Sirven para conformar pisos y techos en un edificio y se apoyan en las vigas o pantallas. Pueden tener uno o varios tramos continuos. Tienen la desventaja de ser pesadas y transmiten fácilmente las vibraciones, el ruido y el calor; pero son más fáciles de construir; basta fabricar un encofrado de madera, de superficie plana, distribuir el acero de refuerzo uniformemente en todo el ancho de la losa y vaciar el concreto. Las luces de cada tramo se miden perpendicularmente a los apoyos; cuando éstos no sean paralelos, la luz del tramo será variable y se considerará en la dirección que predomina en la placa.

Según sea la forma de apoyo, las losas macizas pueden ser:

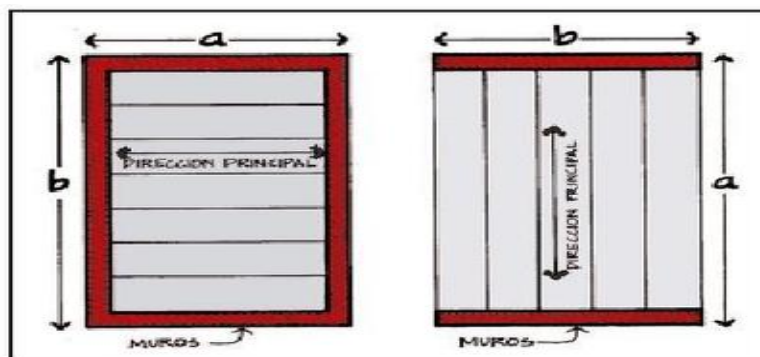
-Armadas en un sentido, si la losa se apoya en dos lados opuestos. En este caso el acero principal se colocará perpendicularmente a la dirección de los apoyos.

-Armada en dos sentidos, si se apoya en los cuatro lados. En este caso se colocarán barras principales en los dos sentidos ortogonales.



Proceso constructivo de una losa maciza

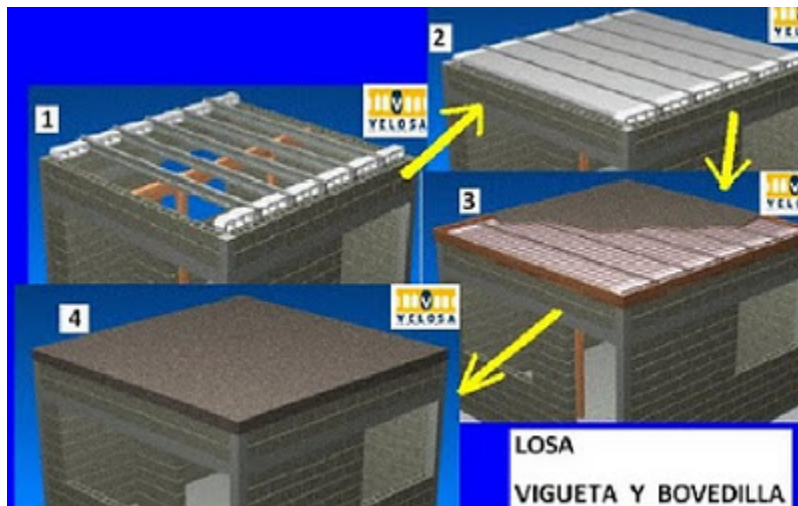
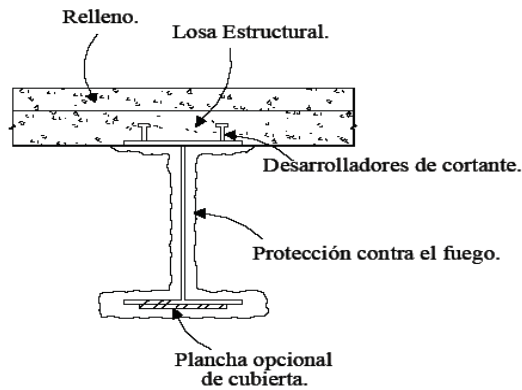
En los diseños rutinarios, minimizando la relación altura/luz el diseñador podrá evitar cálculos de flechas extremadamente complejos. No es necesario calcular las flechas de las losas en dos direcciones si la altura total de la losa satisface los requisitos mínimos establecidos en el reglamento de construcciones.



Esquema de losa maciza

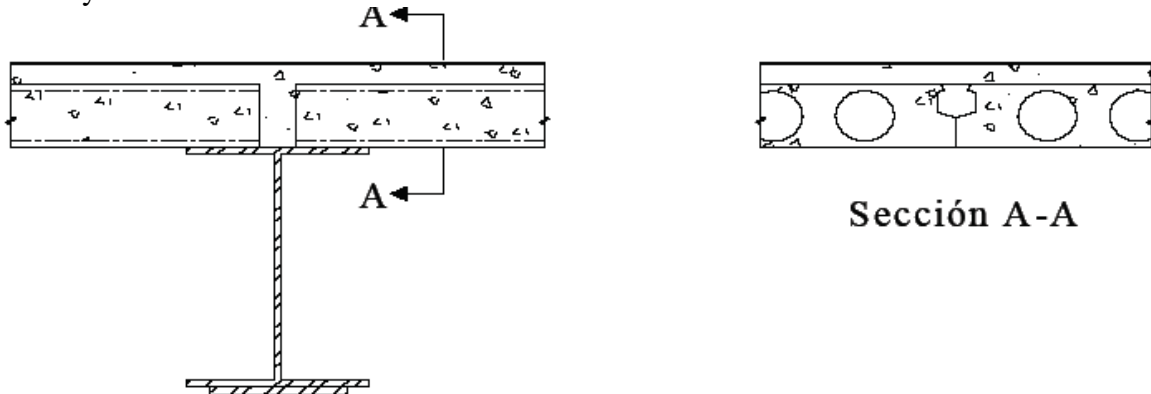
### 1.4.6 Losas apoyadas sobre traves coladas en sitio:

Existen, en teoría, un número considerable de opciones que implican variaciones en los materiales, tipos de sistemas, formas, disposición, y detalles específicos en la construcción de un sistema de piso. Como alternativa se tiene el sistema de losa de concreto colada en sitio sobre vigas de acero como lo muestra la figura. Se requerirá de un colado en sitio para dar continuidad al proceso constructivo. Este tipo de armado es muy común, aprovechando la compresión de la losa para la colocación del sistema eléctrico para que de este modo al colarlo quede ahogado y no será necesario modificarlo más adelante. El uso de dispositivos soldados en la parte superior de las vigas de acero permitiría el desarrollo de una acción compuesta entre la losa de concreto y las vigas de acero, lo que daría por resultado una reducción en las dimensiones de las vigas típicas. Estos elementos son comunes en el armado de edificaciones altas y entre pisos son muy efectivos al dejar la capa de compresión protegida en su parte inferior por el perfil de acero quien absorbe los esfuerzos de tensión y disipa gran parte de la carga de la losa en todo su claro, por lo que la losa de compresión presentara esfuerzos mínimos al ser cargada en su totalidad.



### 1.4.7 Losas apoyadas sobre traves prefabricadas:

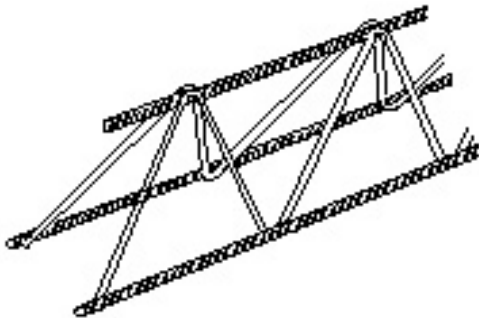
Para lograr la completa unión entre los miembros prefabricados se requerirá de un colado en sitio para dar continuidad. Con este tipo de unidades prefabricadas se pueden obtener claros más largos, aprovechando las extrusiones de la losa para la colocación del sistema pluvial y eléctrico.



LOSAS DE CONCRETO PREFABRICADAS SOBRE VIGAS DE ACERO

La Vigüeta, Es el componente principal del sistema prefabricado de losas aligeradas Concreto, ya que es el elemento estructural responsable de la resistencia de la losa.

Es el componente principal de las vigüetas prefabricadas, la armadura esta hecha de varillas de acero corrugado, 2 inferiores y 1 superior unidos por otro hilo trefilado en frío. Este acero tiene una resistencia a la rotura de 5,600 kg/cm<sup>2</sup> y un límite de fluencia de 5,000 kg/cm<sup>2</sup>. Los 4 hilos de acero pasan por una máquina totalmente automatizada que les aplica una soldadura eléctrica especial que termina por unirlos en la configuración que se muestra en el detalle.



## **1.5 Normatividad aplicada a los Elementos Estructurales Prefabricados**

### **1.5.1 REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL Y SUS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS.**

Entre los instrumentos normativos de mayor relevancia está el nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, emitido por este Gobierno en febrero del 2004; incorpora importantes innovaciones y numerosos avances científicos y tecnológicos en los campos de instrumentación sísmica, sismología y propagación de ondas, estudios del subsuelo y cimentaciones, así como el análisis sobre la respuesta de estructuras bajo la acción de fuerzas sísmicas. Ha sido producto de la colaboración de las áreas del Gobierno del Distrito Federal con atribuciones en la materia, como son la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda y la Secretaría de Obras y Servicios; de diversas Instituciones Académicas y Profesionales y del Comité Asesor en Seguridad Estructural del Distrito Federal.

**Estructuras irregulares:** Se han considerado las diferencias significativas en la geometría de las estructuras, tanto en elevación como en planta y los cambios bruscos en la rigidez y en el peso de las estructuras de un entepiso a otro. Las estructuras irregulares son diseñadas con procedimientos más rigurosos y se establecen requisitos de mayor refuerzo para evitar fallas en ellas.

**Durabilidad y alta resistencia en concretos:** El desarrollo de la industria de la construcción ha demandado concretos de alta resistencia y más durables. En este nuevo Reglamento se agrega el diseño de las edificaciones por durabilidad y se considera el uso de concretos de alta resistencia, lo que significa un ahorro en la dimensión de los elementos estructurales, además de una mayor resistencia a las acciones del medio ambiente y menores requerimientos de mantenimiento.

**Estructuras con disipadores de energía:** La limitación de espacios para la construcción en la Ciudad de México, ha obligado a que las estructuras se diseñen cada vez con mayor altura, por lo que se han debido desarrollar dispositivos que permitan garantizar la seguridad de las construcciones ante los movimientos ocasionados por los sismos. Los disipadores de energía, son dispositivos que forman parte de la estructuración, que al deformarse absorben gran parte de la energía producida por los efectos sísmicos, reduciendo los posibles daños a las edificaciones.

**Elementos postensados o de presfuerzo:** Para satisfacer necesidades de espacio en las edificaciones, se han aplicado con éxito procedimientos constructivos como losas postensadas con tendones no adheridos o elementos estructurales prefabricados, ya sean de presfuerzo o no, lo que ha permitido incrementar en forma significativa los claros de las estructuras y reducir los tiempos en la ejecución de las obras.

**Estructuras mixtas de acero y concreto:** Se enriquecen los criterios de análisis y diseño para elementos estructurales compuestos, formados por perfiles de acero que trabajan en conjunto con elementos de concreto reforzado, o con recubrimientos o rellenos de concreto, tales como: columnas, trabes, armaduras y losas.



## 1.5.2 NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS

### Requisitos generales

Las estructuras prefabricadas se diseñarán con los mismos criterios empleados para estructuras coladas en el lugar, teniendo en cuenta las condiciones de carga que se presenten durante toda la vida útil de los elementos prefabricados, desde la fabricación, transporte y montaje de los mismos hasta la terminación de la estructura y su estado de servicio, así como las condiciones de restricción que den las conexiones, incluyendo la liga con la cimentación. En la estructuración de edificios se deberá proporcionar marcos o muros con resistencia a cargas laterales en dos ejes ortogonales de la estructura.

En los elementos estructurales de sección compuesta formados por prefabricados y colados en el lugar se aplicarán los requisitos del reglamento de construcciones y sus normas técnicas complementarias.

### Estructuras prefabricadas

Las estructuras prefabricadas se diseñarán por sismo con un factor  $Q$  según la zona en la que se edifique. Se podrá usar un factor  $Q$  igual a 3, cuando la estructura prefabricada emule a una colada en sitio y la conexión de los elementos se lleve a cabo en una sección donde los momentos flexionantes de diseño debidos a sismo tengan un valor no mayor que el 60 por ciento del momento flexionante total debido a cargas muerta, viva y accidental en la sección crítica por sismo, del elemento de que se trate. Además, la estructura debe cumplir con los requisitos para  $Q$  igual a 3 que se especifican en el Capítulo 5 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo y en el Capítulo 7 de estas Normas. Cuando el signo de los momentos flexionantes se invierte a causa del sismo, se diseñarán las conexiones viga–columna de acuerdo con la sección

**Conexiones:** Las conexiones se diseñarán de modo que el grado de restricción que proporcionen esté de acuerdo con lo supuesto en el análisis de la estructura, y deberán ser capaces de transmitir todas las fuerzas y momentos que se presentan en los extremos de cada una de las piezas que unen. Cuando una conexión forme parte del sistema estructural de soporte ante acciones laterales, deberá resistir no menos que 1.3 veces el valor de diseño de las fuerzas y momentos internos que transmita.

En marcos formados por elementos prefabricados se define como nudo aquella parte de la columna comprendida en el peralte de las vigas que llegan a ella.

La conexión viga–columna entre elementos prefabricados puede efectuarse dentro del nudo o en las zonas adyacentes o alejadas del mismo. Cuando se aplique  $Q = 3$ , no deberán hacerse dentro del nudo. Las conexiones deberán cumplir los requisitos siguientes:

a) En conexiones que formen parte del sistema estructural de soporte ante cargas laterales, la resistencia,  $f_c'$ , del concreto empleado en las conexiones entre elementos prefabricados,

requerido para transmitir esfuerzos de tensión o compresión, deberá ser al menos igual a la mayor que tengan los elementos que conectan.

b) El acero de refuerzo localizado en las conexiones de elementos prefabricados, requerido para transmitir esfuerzos de tensión o compresión, deberá tener un esfuerzo especificado de fluencia no mayor que 412 MPa (4 200 kg/cm<sup>2</sup>).

c) En las conexiones se deberá colocar refuerzo transversal con el diámetro y la separación indicados en estas Normas para estructuras coladas en el lugar de manera que se asegure la resistencia y el confinamiento requeridos en la conexión, de acuerdo con el valor de Q usado al diseñar.

d) Si la conexión se realiza dentro del nudo deberá cumplir con los requisitos mencionados y se deberá asegurar el confinamiento del nudo. Se deberá asegurar que la articulación plástica se presente en la viga y se deberá cumplir con lo especificado en la norma.

e) Cuando se utilicen colados en sitio para garantizar la continuidad de una conexión, donde quiera que ésta se encuentre, deberán realizarse por la parte superior de ella obligando al uso de cimbras en caras laterales (costados) e inferiores (fondo) de la conexión.

f) Al detallar las conexiones deben especificarse las holguras para la manufactura y el montaje. Los efectos acumulados de dichas holguras deberán considerarse en el diseño de las conexiones. Cuando se diseñe la conexión para trabajar monolíticamente, las holguras deberán rellenarse con mortero con estabilizador de volumen de manera que se garantice la transmisión de los esfuerzos de compresión y cortante.

g) Cada ducto que atraviesa un nudo deberá tener un diámetro de por lo menos el doble del diámetro de la barra que contiene y se rellenará con lechada a presión de modo que asegure la adherencia de las barras.

h) Todas las superficies de los elementos prefabricados que forman parte de una conexión deberán tener un acabado rugoso, de 5 mm de amplitud aproximadamente; estas superficies se limpiarán y se saturarán de agua cuando menos 24 horas antes de colar la conexión. En el colado de la conexión se incluirá un aditivo estabilizador de volumen.

## **Sistemas de piso**

En edificios con sistemas de piso prefabricados se deberá garantizar la acción de diafragma rígido horizontal y la transmisión de las fuerzas horizontales a los elementos verticales. Para este fin se aplicará lo dispuesto en la sección 6.6. El firme estructural que allí se menciona puede estar reforzado con malla o barras de acero colocadas al menos en la dirección perpendicular al eje de las piezas prefabricadas.

Cuando no pueda garantizarse mediante un firme la acción conjunta de los elementos prefabricados, se deben proveer conectores mecánicos a lo largo de los lados de las piezas

adyacentes, según se requiera para transmitir las fuerzas cortantes en el plano, la tensión por cambio de temperatura y los efectos por contracción.

### **1.5.3 NORMA MEXICANA ONNCCE (ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN, S.C.)**

En materia de normas para construcción “realmente falta mucho por hacer. Existen muchos productos que se fabrican en nuestro país y no cuentan con norma nacional, por lo tanto tienen que ser evaluados bajo normas internacionales y muchas veces, al venir estas de países mas avanzados son mucho mas exigentes. De esta forma es difícil que los productos mexicanos puedan competir con productos de importación” opino el arquitecto franco muy especificas. Bucio Mujica, director técnico del organismo nacional de normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. (ONNCCE). Asimismo, señalo que las normas existentes ahora van enfocadas a las estructuras de edificaciones y son mas allá de 450 productos y ensayes en la construcción, entre los que se encuentran el cemento, concreto, madera, aceros, elementos prefabricados (viguetas, paneles, bloques) y con pinturas vinílicas, impermeabilizantes y algunas normas en las que poco se ha insistido que tienen que ver con elementos modulares de complementos de la edificación, como pueden ser puertas y ventanas. “Existen normas obligatorias (NOM) que se relacionan con productos de la construcción, como las que tienen que ver con diferentes productos de concreto prefabricado. Las Normas ASTM INTERNACIONAL: Las normas de ASTM International constituyen la base para el diseño, fabricación y/o instalación de muchas otras líneas de productos de concreto prefabricado, sin embargo solo son complemento para la construcción de elementos prefabricados en nuestro país. Siendo una norma internacional



**ARMADO DE TRABE VIADUCTO ELEVADO LINEA 12**

## **1.6 Que es un Proceso de Calidad**

Un proceso de calidad : El mejoramiento de la calidad total dentro de una organización o empresa es un sistema de medios que nos permite implementar efectivamente esquemas apropiados para la planeación, el control y el mejoramiento de los procesos claves y de soporte con los que la empresa puede aumentar su competitividad. Es necesario para implantar el proceso de calidad, evaluar la situación actual de la empresa y comenzar a explorar nuevas formas de relación entre las áreas para simplificar los procesos y hacer eficaz el trabajo. Todas las empresas necesitan una mejora continua en su calidad, ya que es importante aumentar la eficacia en sus procesos para poder ofrecer lo mejor a sus clientes y así mismo incentivar a sus empleados para poder hacerlo de la mejor manera. El concepto técnico de calidad representa una forma de hacer las cosas en las que predominan la preocupación de satisfacer al cliente y por mejorara día a día procesos y resultados, el concepto actual de calidad ha evolucionado hasta convertirse en una forma de gestión que introduce el concepto de mejora en cualquier organización y a todos los niveles de la misma y que afecta a todas las personas y a todos los procesos.

Calidad en prefabricados se basa en tres objetivos básicos:

- 1.- Buscar la forma activa la satisfacción del cliente, priorizando en sus objetivos la satisfacción de sus necesidades y expectativas.
- 2.- Orientar la cultura de la organización dirigiendo los esfuerzos hacia la mejora continua e introduciendo métodos de trabajo que lo faciliten.
- 3.- Motivar a los empleados que sean capaces de elaborar productos y servicios de alta calidad y que satisfagan las expectativas del cliente.

Objetivos Generales: Conocer y analizar el proceso de la mejora continúa de la calidad total en México.

Planteamiento del Problema: ¿Cómo la mejora continua de los procesos de la calidad total afecta a las empresas?

Justificación: La mejora continua en los procesos de la calidad total son de gran importancia en todas y cada una de las empresas, ya que es necesario implementar estrategias que ayuden a que los procesos sean mayormente eficaces para poder aumentar la competitividad y así satisfacer todos los requerimientos de los clientes. Metodología: Hacer una investigación en libros donde haya información acerca de la mejora continua, de la calidad total y de estas dos juntas, así mismo en la internet encontrar artículos relacionados.

La calidad, por su parte, es una propiedad y cualidad inherente de las cosas, que permite la comparación entre éstas y otras de su misma especie. Se trata de una apreciación subjetiva que respecto a un usuario, implica satisfacer las necesidades y deseos (si lo logra, es de buena calidad).

Un modelo de calidad es, por lo tanto, un conjunto de prácticas vinculadas a los procesos de gestión y el desarrollo de proyectos. Este modelo supone una planificación para alcanzar un impacto estratégico, cumpliendo con los objetivos fijados en lo referente a la calidad del producto o servicio. Al implementar un modelo de calidad, una empresa busca desarrollar sistemáticamente productos y servicios que cumplan con los requerimientos y las exigencias de los clientes. Es importante que los elementos que forman el conjunto del modelo de calidad se encuentren estructurados en forma tal que sea posible realizar un control y seguimiento de los procesos. El modelo debe reunir las actividades y funciones relacionadas con la calidad para que puedan ejecutarse de un modo sistemático y formal. Los directivos, a la hora de implantar un modelo de calidad, deben tener en cuenta que la empresa está formada por múltiples elementos interdependientes e interconectados que deben actuar coordinadamente para alcanzar un mismo objetivo. Se conoce como calidad al conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas preestablecidas. Se toma con importancia esta jefatura, porque son los principales encargados de revisar las condiciones de materiales tales como agregados, cemento, agua, presfuerzo y acero de refuerzo para que cumplan con los estándares contemplados, garantizando la calidad de cada uno de los procesos. Además es la encargada de garantizar buena ejecución de procesos y productos ante cualquier entidad certificadora. A través del buen control de los procesos, se puede ofrecer una buena calidad y confiabilidad, seguridad y protección al ambiente para reducir desechos, reducción de los tiempos de producción, incrementando inclusive la producción. El control de la calidad son las técnicas y actividades operativas a supervisar un proceso, eliminando las causas del desempeño insatisfactorio en las etapas más relevantes del ciclo de calidad para lograr una efectividad económica.

Entre las actividades que coordina control de calidad se encuentran las siguientes:

- Especificaciones requeridas de fabricación.
- Diseño del producto (muestreo, ensaye y selección de materiales).
- Inspección de producto.

En esta área de trabajo la seguridad es lo más importante y la rapidez es lo que marca la diferencia.



**Modelo de calidad**

2012



# Capítulo 2

## II. DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE ELEMENTOS PRETENSADOS Y POSTENSADOS EN ESTRUCTURAS

- 2.1 Criterios de Diseño
- 2.2 Procedimientos de Construcción
- 2.3 Procesos de Transporte
- 2.4 Proceso de Montaje
- 2.5 Beneficios



## 2.1 Criterios de Diseño

Hoy en día la construcción cada vez se asemeja más a un proceso industrial, que tiene como producto los elementos prefabricados.

Actualmente no existe un reglamento que considere el análisis y diseño de puentes. Existe una propuesta de norma para el reglamento del distrito federal que esta actualmente en revisión y que es un complemento a las normas técnicas de dicho reglamento. Por lo pronto, es responsabilidad del diseñador escoger las solicitaciones y los métodos de análisis y diseño óptimos, acordes a la situación nacional. No es valido combinar partes de distintos reglamentos sin estar consientes que cada uno de ellos ha sido concebido de manera independiente y que las combinaciones sin conocer las bases que los crearon pueden arrojar resultados inconsistentes.

El presfuerzo significa la creación intencional de esfuerzos permanentes en una estructura o conjunto de piezas, con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio y de resistencia. Los principios y técnicas del presforzado se han aplicado a estructuras de muchos tipos y materiales, la aplicación más común ha tenido lugar en el diseño del concreto estructural.

El concepto original del concreto presforzado consistió en introducir en vigas suficiente precompresión axial para que se eliminaran todos los esfuerzos de tensión que actuarán en el concreto. Con la práctica y el avance en conocimiento, se ha visto que esta idea es innecesariamente restrictiva, pues pueden permitirse esfuerzos de tensión en el concreto y un cierto ancho de grietas.

El ACI propone la siguiente definición: Concreto presforzado: Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado. En elementos de concreto reforzado el presfuerzo es introducido comúnmente tensando el acero de refuerzo. Dos conceptos o características diferentes pueden ser aplicados para explicar y analizar el comportamiento básico del concreto presforzado. Es importante que el diseñador entienda los dos conceptos para que pueda proporcionar y diseñar estructuras de concreto presforzado con inteligencia y eficacia.

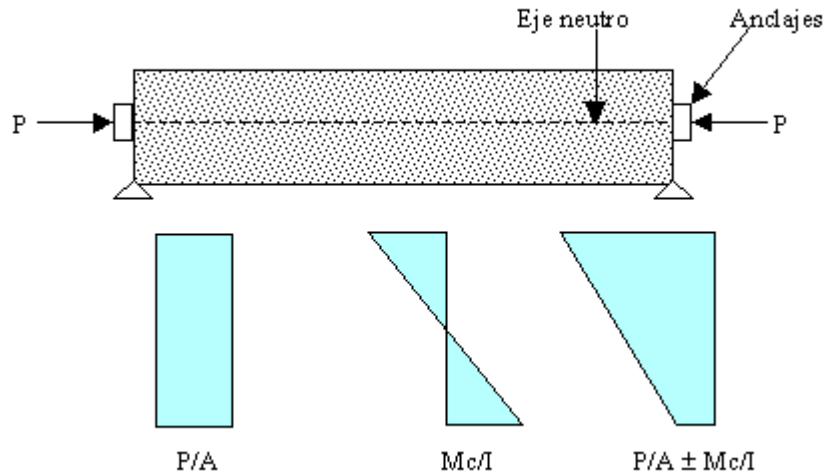
Primer concepto - Presforzar para mejorar el comportamiento elástico del concreto. Este concepto trata al concreto como un material elástico y probablemente es todavía el criterio de diseño más común entre ingenieros.

El concreto es comprimido (generalmente por medio de acero con tensión elevada) de tal forma que sea capaz de resistir los esfuerzos de tensión.

Desde este punto de vista el concreto está sujeto a dos sistemas de fuerzas: presfuerzo interno y carga externa, con los esfuerzos de tensión debido a la carga externa contrarrestados por los esfuerzos de compresión debido al presfuerzo. Similarmente, el agrietamiento del concreto debido a la carga es contrarrestado por la precompresión producida por los tendones. Mientras que no haya grietas, los esfuerzos, deformaciones y deflexiones del concreto debido a los dos sistemas de fuerzas pueden ser considerados por

separado y superpuestos si es necesario.

En su forma más simple, consideremos una viga rectangular con carga externa y presforzada por un tendón a través de su eje centroidal (Figura 1).



**Figura 1. Distribución de esfuerzos a través de una sección de concreto presforzado concéntricamente**

Debido al presfuerzo P, un esfuerzo uniforme se producirá a través de la sección que tiene un área A:

$$f = -P/A \tag{1.1}$$

Si M es el momento externo en una sección debido a la carga y al peso de la viga, entonces el esfuerzo en cualquier punto a través de la sección debido a M es:

$$f = \frac{My}{I} \tag{1.2}$$

Dónde y es la distancia desde eje centroidal e I es el momento de inercia de la sección. Así la distribución resultante de esfuerzo está dada por:

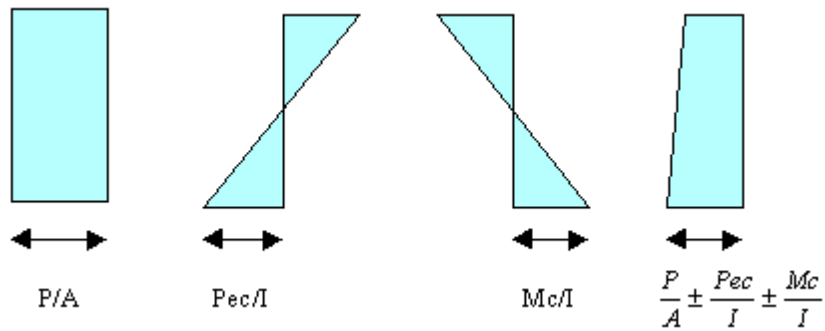
$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{My}{I} \tag{1.3}$$

Como se muestra en la Figura 1.

La trabe es más eficiente cuando el tendón es colocado excéntricamente con respecto al centroide de la sección, Figura 2, donde e es la excentricidad.







**Figura 2. Distribución de esfuerzo a través de una sección de concreto presforzado excéntricamente**

Debido a un presfuerzo excéntrico, el concreto es sujeto tanto a un momento como a una carga directa. El momento producido por el presfuerzo es  $P_e$ , y los esfuerzos debido a éste momento son:

$$f = \frac{P_e y}{I} \tag{1.4}$$

Así, la distribución de esfuerzo resultante está dada por:

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{P_e y}{I} \pm \frac{M y}{I} \tag{1.5}$$

Como se muestra en la figura 2.

Segundo concepto - presforzar para aumentar la resistencia última del elemento.

Este concepto es considerar al concreto presforzado como una combinación de acero y concreto, similar al concreto reforzado, con acero tomando tensión y concreto tomando compresión de tal manera que los dos materiales formen un par resistente contra el momento externo (Figura 3). Esto es generalmente un concepto fácil para ingenieros familiarizados con concreto reforzado.

En el concreto presforzado se usa acero de alta resistencia que tendrá que fluir (siempre y cuando la viga sea dúctil) antes de que su resistencia sea completamente alcanzada. Si el acero de alta resistencia es simplemente embebido en el concreto, como en el refuerzo ordinario de concreto, el concreto alrededor tendrá que agrietarse antes de que la resistencia total del acero se desarrolle (Figura 4).



**Figura 3. Viga de concreto**

- a) **Simplemente reforzada - grietas y deflexiones excesivas**
- b) **Presforzada – sin grietas y con pequeñas deflexiones**

De aquí que es necesario pre-estirar o presforzar al acero. Presforzando y anclando al acero contra el concreto, se producen esfuerzos deseables. Estos esfuerzos permiten la utilización segura y económica de los dos materiales para claros grandes lo cual no puede lograrse en el concreto simplemente reforzado.

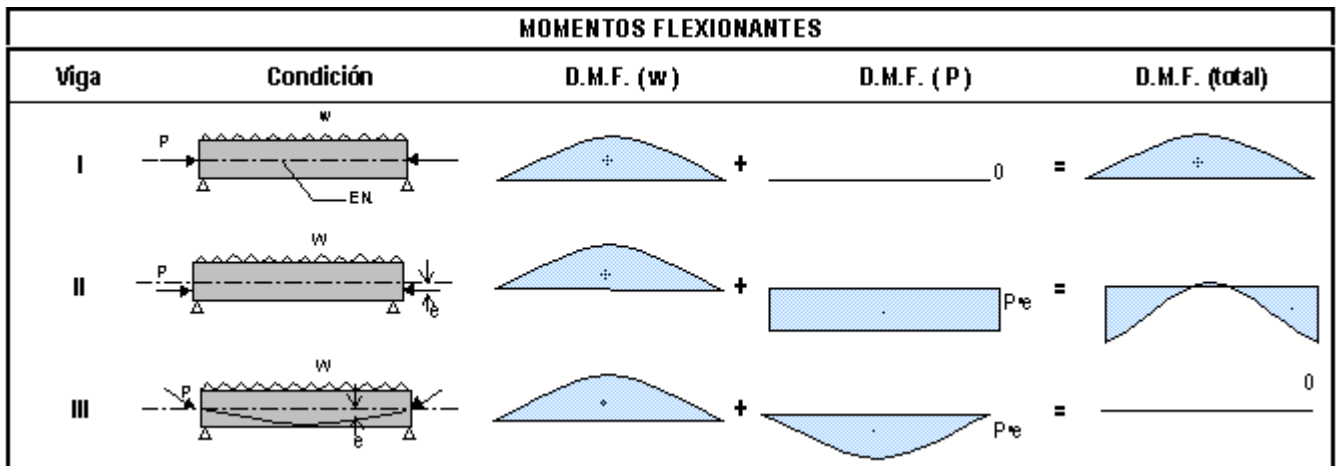


Figura 4. Momentos flexionantes a lo largo de vigas presforzadas simplemente apoyadas

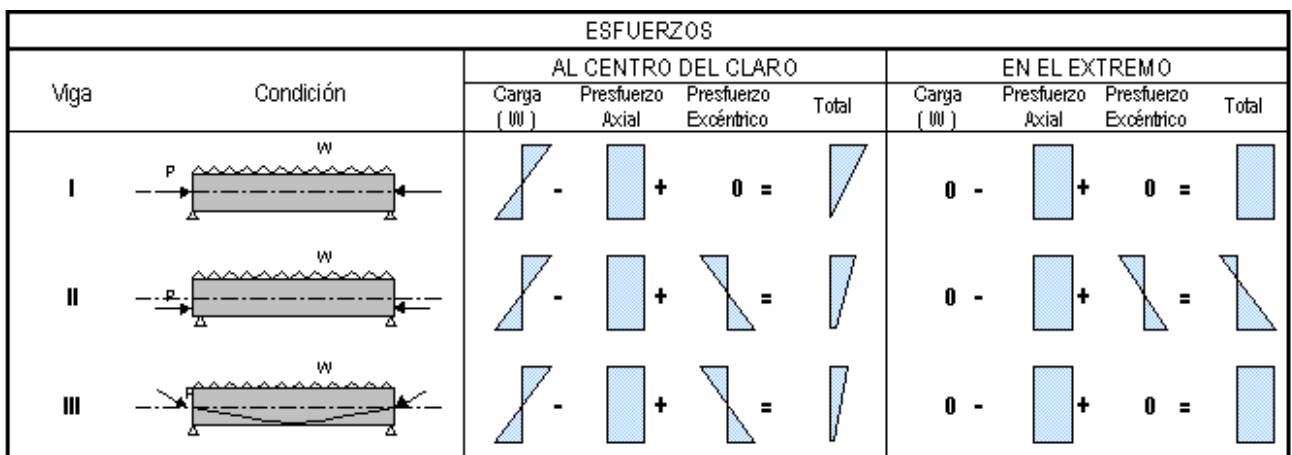


Figura 5. Esfuerzos al centro del claro y en los extremos de vigas simplemente apoyadas con y sin presfuerzo.

En la Figura 4 se muestran como ejemplo los diagramas de momentos debidos a carga vertical y al presfuerzo para una viga simplemente apoyada. La carga vertical es la misma para los tres casos que se muestran; sin embargo, los diagramas de momento debidos a la fuerza de presfuerzo son distintos. La viga I tiene presfuerzo axial, es decir, el centro de gravedad de los torones se encuentra en el eje neutro de la sección. Aparentemente, no existe ventaja alguna al colocar presfuerzo axial. La viga II muestra un diagrama de momento constante debido a que el presfuerzo se aplica con excentricidad y su trayectoria es recta a lo largo de toda la viga; en los extremos no existe momento por cargas que disminuya la acción del presfuerzo, por lo que éste se deberá suprimir con encamisados o dispositivos similares. Por último, en la viga III se tiene una distribución de momentos debidos al presfuerzo similar a la curva debida a la carga vertical; el presfuerzo así colocado contrarresta el efecto de las cargas en cada sección de la viga.

La Figura 5 muestra los diagramas de esfuerzo para las mismas vigas tanto al centro del claro como en los extremos. Al centro del claro se aprecia que el comportamiento de la primera viga mejora con el presfuerzo aunque sea sólo axial ya que las tensiones finales que se presentan en la fibra inferior son menores que para una viga sin presforzar; para las otras dos vigas estos esfuerzos son todavía menores por el momento provocado por el presfuerzo excéntrico. En los extremos, la primera y tercera de las vigas presentan esfuerzos sólo de compresión, mientras que la viga II presenta esfuerzos de tensión y compresión, estos últimos mayores a los de las otras dos vigas debido a la existencia de presfuerzo excéntrico. Hay campos de la construcción en donde estos métodos son los únicos que se utilizan, por ejemplo, en puentes vehiculares, puentes peatonales, tanques de almacenamiento; también en naves industriales, en viviendas de clase media y baja, entre otros. Los criterios de diseño consisten en limitar los valores de los esfuerzos en el concreto para condiciones específicas de cargas. Además de los aspectos funcionales y económicos especiales del concreto como material de construcción de puentes, ciertas propiedades mecánicas y físicas son importantes con respecto a la aplicación y el comportamiento del concreto.

El presfuerzo significa la creación intencional de esfuerzos permanentes en una estructura o conjunto de piezas, con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio y de resistencia. Los principios y técnicas del presforzado se han aplicado a estructuras de muchos tipos y materiales, la aplicación más común ha tenido lugar en el diseño del concreto estructural. El Concreto Presforzado consiste en crear deliberadamente esfuerzos permanentes en un elemento estructural para mejorar su comportamiento de servicio y aumentar su resistencia. Los elementos que se utilizan van desde una vigueta para casa hasta vigas para puentes de grandes claros. Las varillas para el refuerzo de estructuras de concreto reforzado, se fabrican en forma tal de cumplir con los requisitos de las siguientes Especificaciones ASTM: A-615 "Varillas de Acero de Lingotes Corrugadas y Lisas Para Concreto Reforzado", A-616 "Varillas de Acero de Riel Relaminado Corrugadas y Lisas para Refuerzo de Concreto", o la A-617 "Varillas de Acero de Eje Corrugado y Lisas Para concreto Reforzado".

Las varillas se pueden conseguir en diámetros nominales que van desde  $3/8$  de pulgada hasta  $1\ 3/8$  de pulgada con incrementos de  $1/8$  de pulgada., y también en dos tamaños más grandes de mas a menos  $1\ 3/4$  y  $2\ 1/4$  de pulgada. Es importante que entre el acero de refuerzo exista adherencia suficientemente resistente entre los dos materiales. Esta adherencia proviene de la rugosidad natural de las corrugaciones poco espaciadas en la superficie de las varillas. Las varillas se pueden conseguir en diferentes resistencias. Los grados 40, 50 y 60 tienen resistencias mínimas especificadas para la fluencia de 276, 345 y  $414\ \text{N/mm}^2$  respectivamente. La tendencia actual es hacia el uso de varillas del grado 60.

El presfuerzo puede definirse en términos generales como el precargado de una estructura, antes de la aplicación de las cargas de diseño requeridas, hecho en forma tal que mejore su comportamiento general. Una de las mejores definiciones del concreto presforzado es la del Comité de Concreto Presforzado del ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE), que dice: Concreto presforzado: Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado.

Los elementos prefabricados de concreto engloban dos tipos de sistemas, que son los presforzados pretensados y postensados e incluso solo reforzados. Se entiende por prefabricación a la producción previa de elementos a partir de materiales seleccionados adecuadamente o de la totalidad de un sistema constructivo. Los elementos precolados de

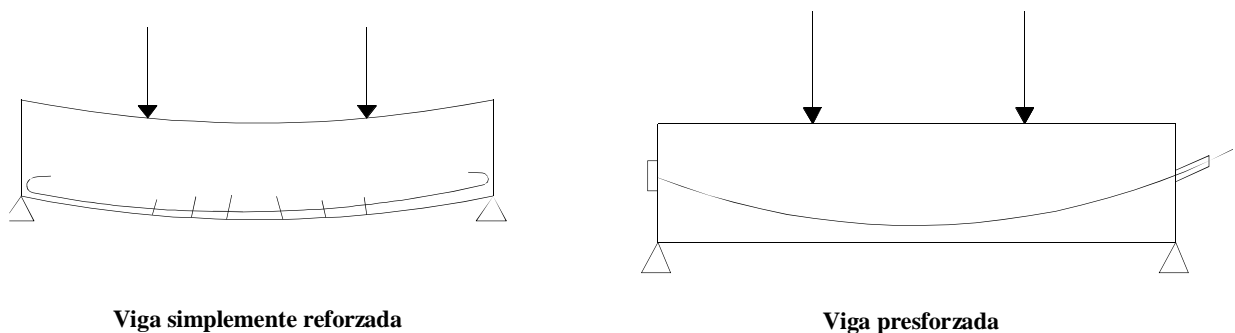
concreto en un punto de vista real y técnico, van desde concreto reforzado convencional y de presfuerzo<sup>11</sup>, en otros términos son a aquellos cuya fabricación requiere cumplir con ciertas características geométricas o de armados de refuerzo y/o presfuerzo. El presfuerzo (precargado) en una estructura, es la aplicación de cargas de diseño requeridas realizado de tal forma que mejore su comportamiento general, en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución de esfuerzos resultantes definidos por las cargas externas que equilibren hasta el grado deseado por el proyectista.

### **Prefabricado=Precolado=Premoldeado= Pretensado o Postensado**

También podremos definir a los elementos presforzados son aquellos que a través de la creación de un estado de esfuerzos y sus debidas deformaciones dentro del mismo material se contempla mejorar su comportamiento para satisfacer la función a la que esta destinado<sup>13</sup>. Estos no solo deben cumplir con las características físicas o de armado, la transmisión de dichos esfuerzos requiere la infraestructura necesaria para fabricar el elemento. El presfuerzo no es estado permanente de esfuerzos y deformaciones sino que depende del transcurso de tiempo, pues tanto el concreto y el acero, se deforman elásticamente, cuando estos están sometidos a un estado de esfuerzos permanentes.

De lo anterior podemos resumir que existen tres formas de explicar aun más el comportamiento básico del concreto presforzado:

- 1. El presfuerzo transformara al concreto en un material elástico:** aquí se considera que el concreto es un material elástico debido a la precomprensión que se le suministra al ser tensado el acero de presfuerzo.
- 2. El concreto es susceptible a esfuerzos de tensión:** Se le considera diez veces menor que su capacidad a la compresión. Regularmente se cree que si no hay esfuerzos a la tensión en concreto no se presentaran grietas, además el concreto no es un material frágil, sino que se convierte en un material elástico capaz de soportar esfuerzos a la tensión, tal como se muestra a continuación.

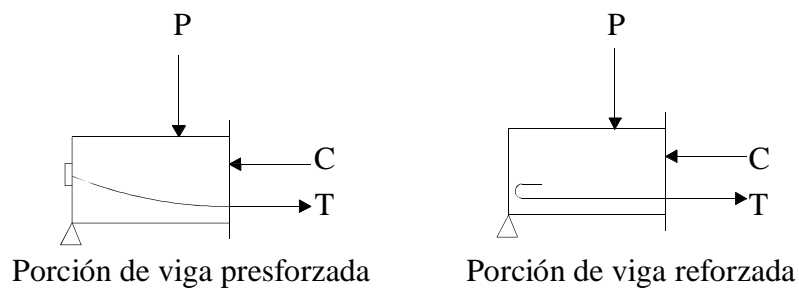


**Figura 2.1 Representación de esfuerzos de tensión en el concreto**

Para ello el concreto estará sujeto a dos sistemas de fuerza: la aplicación del presfuerzo interno y la carga externa. En la figura 2.1 se observa como los esfuerzos de tensión producidos por la carga externa, se equilibran con los esfuerzos de compresión, originados por el presfuerzo sin que se origine agrietamiento en la pieza. El concreto presforzado requiere de una predeformación para satisfacer las cargas a las que será sometido, teniendo en cuenta que ese elemento se acortara, esto quiere decir que mientras no suceda esto no estará presforzado.

## 2.2 la combinación de acero y concreto de alta resistencia:

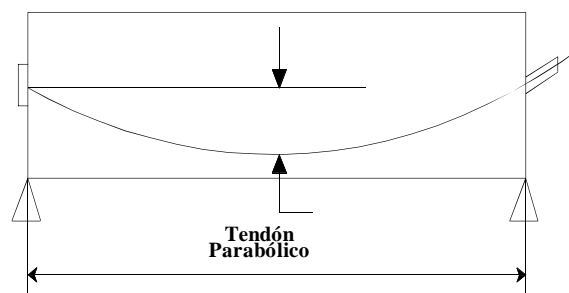
Este concepto considera al concreto presforzado como una combinación de acero y concreto muy similar a la del concreto reforzado, teniendo al acero absorbiendo a la tensión y el concreto a la compresión, teniendo como consecuencia un par resistente del elemento presforzado, con un brazo de palanca entre ellos contra el momento exterior (ver figura 2.2).



Donde: P=Carga o sollicitación actual.  
 C= Compresión del elemento.  
 T= Tensión en el elemento.

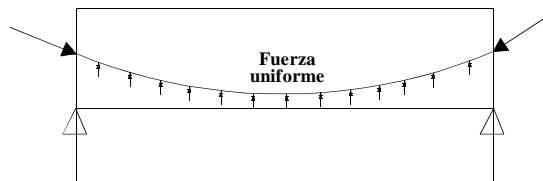
**Figura 2.2 Acción del momento flexionante en una viga presforzada.**

Si el acero de alta resistencia simplemente se ahogara dentro del concreto, como es el caso del refuerzo ordinario, produciría agrietamiento alrededor del presfuerzo, antes de desarrollar su resistencia total. En el caso del concreto presforzado se utiliza acero de alta resistencia el cual se deberá de alongar considerablemente una longitud para poder utilizar el total de su resistencia. Es necesario pre-estirar y anclar el acero contra el concreto, propiciando que el elemento tenga los esfuerzos y deformaciones de tensión en el acero, obteniendo una acción combinada en el empleo seguro de los materiales y consiguiendo las propiedades mecánicas al máximo del mismo elemento.



### 3. Presforzando se obtiene un balance de cargas:

En esta parte se visualiza un intento de balance de cargas en el elemento, equilibrando las cargas de gravedad con las internas, para que así no este sujeto a esfuerzos de flexión excesivos, permitiendo transformar a un elemento flexionado en un elemento de esfuerzo directo ( $\sigma = P / A$ ) simplificando su análisis y diseño. Para la aplicación del concepto se requiere tomar al concreto como un cuerpo libre y remplazar los tendones con fuerzas que actúan sobre el concreto.



**Viga de concreto presforzada como cuerpo libre**

**Donde:**

L= longitud del elemento.

h= Excentricidad del acero de presfuerzo respecto al eje neutro del elemento.

La influencia de fuerzas opuestas a las que producen las cargas de trabajo, son proporcionadas mediante los tendones o cables de acero de alta resistencia, que al ser tensados proporcionan un empuje de la fuerza interna en el sentido contrario a las cargas sobre el elemento, anulando los esfuerzos que le sean ocasionados por acciones de la gravedad.

Los elementos pretensados como ya habíamos hecho mención se dividen en pretensados y postensados, para entender cuales la diferencia entre ambos sistemas daremos unas breves definiciones.

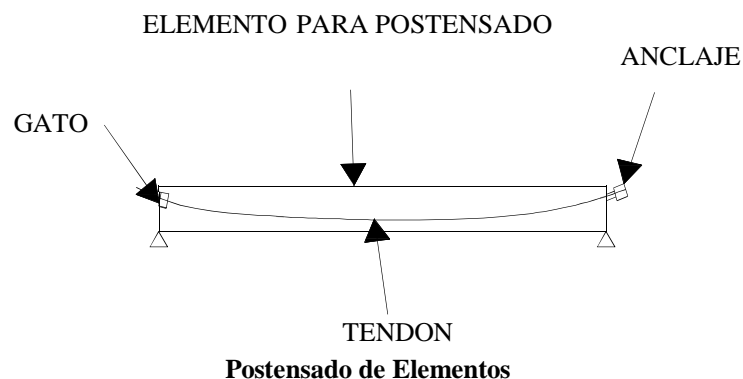
El pretensado se usa para describir la forma de presfuerzo en el cual los tendones se tensan antes de colar el concreto. Se requiere de moldes o muertos según sea el diseño del elemento (bloques de concreto enterrados en el suelo) que sean capaces de soportar el total de la fuerza de presfuerzo durante el colado y curado del concreto antes de cortar los tendones para que la fuerza pueda ser transmitida al elemento. Este tipo de elementos presforzados se fabrican en serie dentro de plantas con instalaciones adecuadas, para transferir presfuerzo en una sola operación a varios elementos. Los elementos pretensados más comunes son viguetas, trabes, losas y gradas, usados muy frecuentemente en edificios, naves, puentes, gimnasios y estadios principalmente.

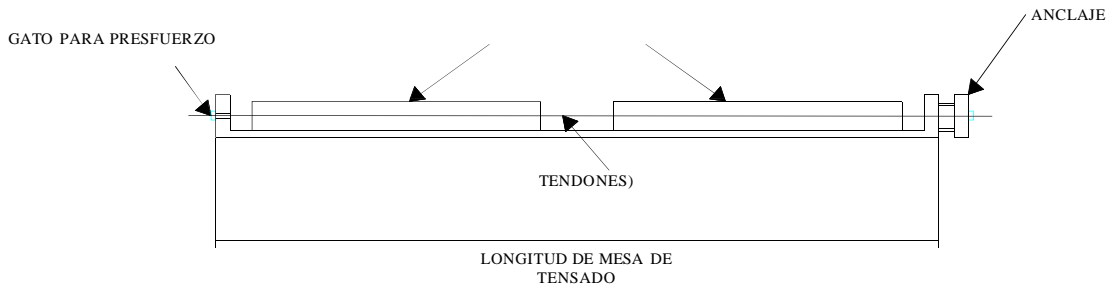
El postensado es otra forma de presfuerzo que consiste en tensar los tendones y anclarlos en los extremos de los elementos después de que el concreto ha fraguado y alcanzado su resistencia necesaria.

Antes del colado del concreto, se dejan una serie de ductos perfectamente fijos con la trayectoria deseada, lo que permite variar la excentricidad dentro del elemento a lo largo del mismo para lograr las flechas y esfuerzos deseados. Los ductos serán rellenos con mortero o lechada una vez que el acero de presfuerzo haya sido tensado y anclado. Las funciones primordiales del mortero son las de proteger al presfuerzo de la corrosión y evitar movimientos relativos entre los torones durante cargas dinámicas. En el postensado la acción del presfuerzo se ejerce externamente y los tendones se anclan al concreto con dispositivos mecánicos especiales (anclajes), generalmente colocados en los extremos del tendón. El sistema postensado se utiliza ya cada vez en sistemas de puentes con grandes claros y algunos elementos prefabricados, su eficiencia de trabajo no se relaciona con el proceso del presfuerzo a la fecha arroja buenos resultados en obras de infraestructura en sitios de difícil acceso. En el postensado la tensión de cables se lleva a cabo después de que el concreto se ha vaciado, fraguado y alcanzado la resistencia a la compresión mínima ( $f'_{ci}$ ), la que es capaz de resistir la aplicación de las fuerzas opuestas a las de servicio; aplicando la fuerza tensora por medio de gatos hacia el mismo elemento. Aquí se utiliza el principio de la no-adherencia de los torones al usar los tendones enductados. Los elementos prefabricados de concreto han dado lugar a la creación de la industria de estos elementos, dejando prueba fehaciente de sus ventajas.

Actualmente los sistemas pretensados tienen su propio esquema de análisis y diseño para adaptación del sistema en obra. Pero las dos vertientes de sistemas de presfuerzo tienen sus diferencias, mientras un pretensado se ejecuta en una planta de prefabricados en condiciones óptimas debido a que sus tendones son previamente colocados antes del colado de concreto y a que su tensado se retira hasta que el concreto adquiere determinada resistencia, los elementos postensados aplican el presfuerzo con tendones que se colocan después de la fabricación y el tensado de estos se ejecuta una vez que el concreto ha fraguado y alcanzado su resistencia suficiente (este sistema es recomendable para utilizarse en zonas de difícil acceso como el caso de traveses postensados de puentes).

Los elementos postensados y pretensados son recomendables pero las ventajas que tiene el pretensado sobre el postensado se vea mejor en el control de calidad que da una planta de pretensados por ejemplo: en una planta de prefabricados de concreto pretensado los costos de concreto son controlados por una dirección de concretos de la propia planta y no dependerá tanto de conreteras, ella misma se encarga de suministrar su propio concreto en planta y abate costos de producción que en obra se generarían. Para ejemplificar los procesos de presfuerzo se muestran las siguientes figuras:





### **Pretensado de Elementos.**

La infraestructura del sistema de fabricación pretensado es mayor que la de un postensado ya que la mesa de tensado se tiene que ubicar en un área mas grande debido a que se tensan mas elementos a la vez, además de que esta en función de las dimensiones a las que de la misma mesa, moldes o costados requeridos para fabricar la o las piezas.

Hay ocasiones en que se desean aprovechar las ventajas de los elementos pretensados pero no existe suficiente capacidad en las mesas de colado para sostener el total del presfuerzo requerido por el diseño del elemento; y si se necesita ligar elementos presforzados en obra y resulta conveniente aplicar una parte del presfuerzo durante alguna etapa de fabricación (pretensado) y es posible dejar ahogados ductos en el elemento para postensarlo, pero sea en planta en obra el presfuerzo no tiene limites.

El presfuerzo se puede dividir en 2 grandes grupos de acuerdo al instante y método de aplicar la fuerza de presfuerzo al elemento: el Pretensado y el Postensado. . Los miembros del concreto pretensado presforzado se producen restirando o tensando los tendones entre anclajes externos antes de vaciar el concreto y al endurecerse el concreto fresco, se adhiere al acero. Cuando el concreto alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza presforzante aplicada por gatos, y esa misma fuerza es transmitida por adherencia, del acero al concreto. En el caso de los miembros de concreto postensado, se esfuerzan los tendones después de que ha endurecido el concreto y de que se haya alcanzado suficiente resistencia, aplicando la acción de los gatos contra el miembro de concreto mismo.

Gracias a la combinación del concreto y el acero de presfuerzo es posible producir esfuerzos y deformaciones que contrarresten total o parcialmente a los producidos por las cargas gravitacionales que actúan en el elemento, lográndose así diseños más eficientes. De acuerdo con lo anterior, la deformación y el agrietamiento de elementos presforzados disminuyen por la compresión y el momento producidos por los tendones, lo que se traduce en elementos más eficientes.



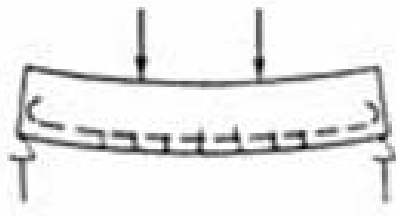


Figura a

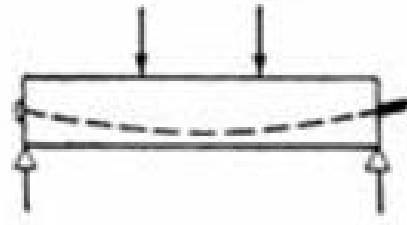
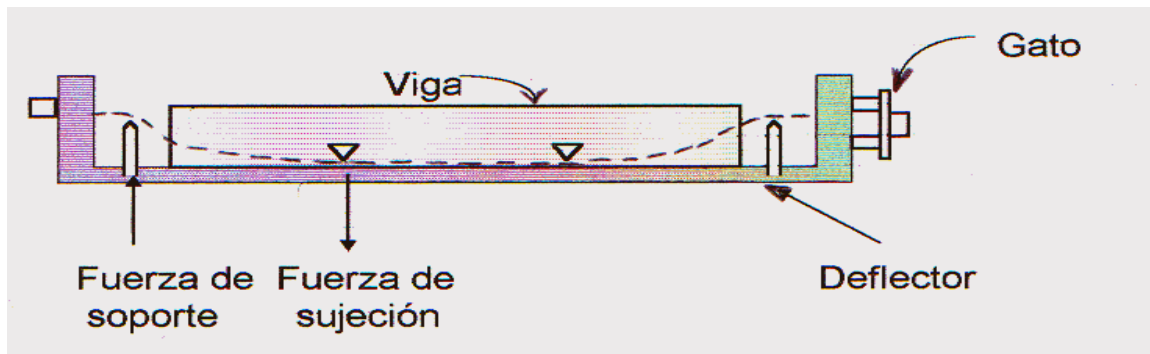
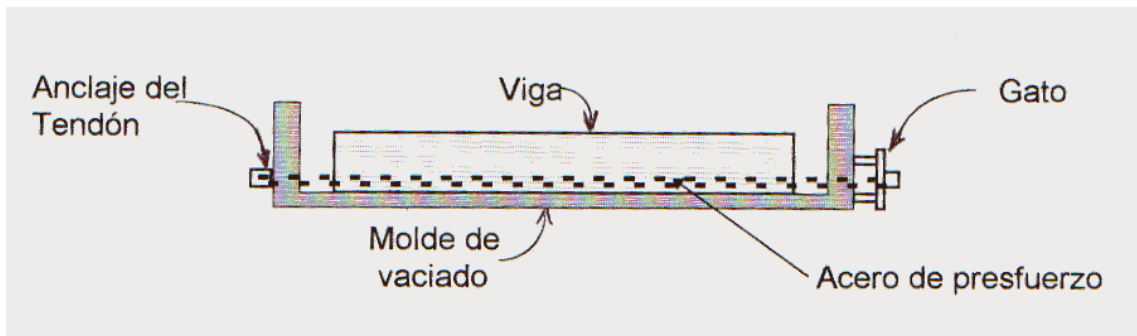


Figura b

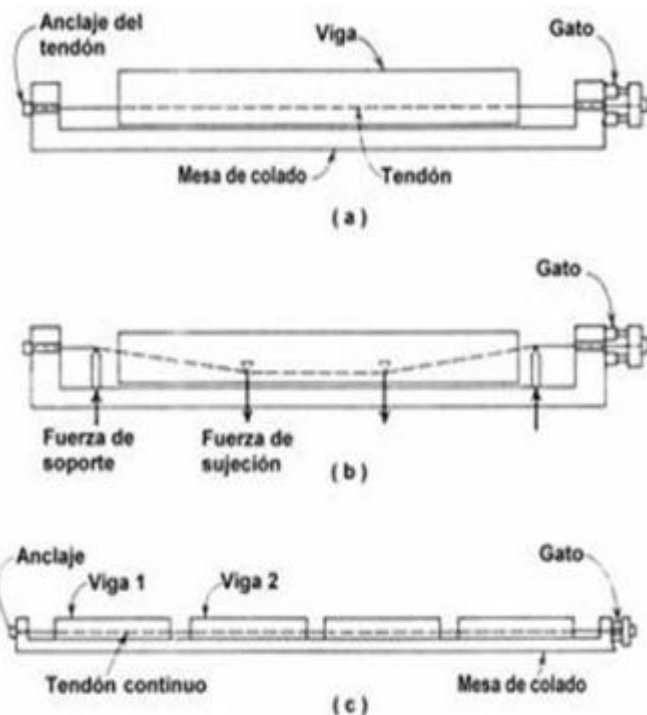
Simply reinforced - cracks and excessive deflections  
 Prestressed - no cracks and small deflections

**2.1.1 ¿POR QUÉ CONCRETO PRESFORZADO?** Gracias a la combinación del concreto y el acero de presfuerzo es posible producir esfuerzos y deformaciones que contrarresten total o parcialmente a los producidos por las cargas gravitacionales que actúan en el elemento, lográndose así diseños más eficientes. De acuerdo con lo anterior, la deformación y el agrietamiento de elementos presforzados disminuyen por la compresión y el momento producidos por los tendones, lo que se traduce en elementos más eficientes.



MÉTODOS DE PRETENSADO

**2.1.2 CONCRETO PRETENSADO:** El método del pretensado se adopta mejor en unidades de sección transversal pequeña, en las cuales no se puede acomodar el cable del postensado, debido a que este es comparativamente más voluminoso. El sistema puede ser adoptado a la producción de masa de un gran número de unidades similares (solo en caso que resulten muy económicas) tal como los durmientes para ferrocarril, largueros de piso, trabes, unidades de pisos, postes, pilotes, etc. Sin embargo presenta ciertas desventajas que hacen más limitado su uso en relación con el otro método cuando se trata de elementos muy grandes. Por lo general los alambres son rectos de manera que no se dispone de la resistencia que proporcionan los cables curvados hacia arriba, la pérdida de presfuerzo es mayor, la efectividad de una fuerza dada no es tan grande y así sucesivamente.



El término pretensado se usa para describir el método de presfuerzo en el cual los tendones se tensan antes de vaciar el concreto. Fabricación de un elemento pretensado:

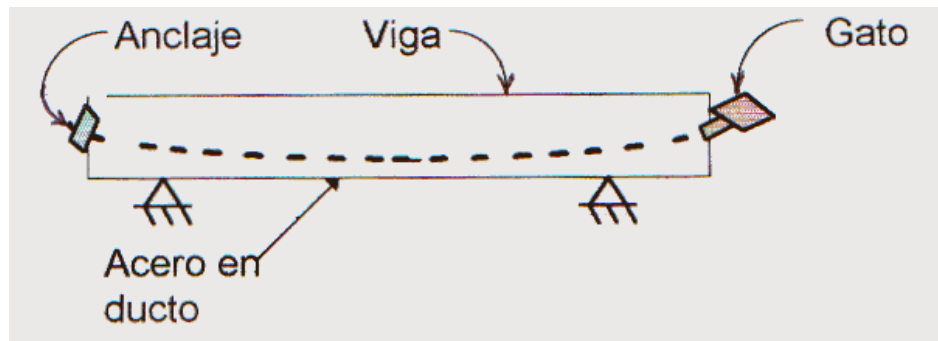
- (a) Trayectoria horizontal
- (b) Desvío de torones
- (c) Producción en serie.

Los factores decisivos en el empleo del pretensado se deben a lo siguiente:

- 1.- tamaño del elemento
- 2.- número de unidades requeridas
- 3.- conveniencia de los alambres rectos

Una considerable labor se ha realizado en la manufactura de unidades de trabes y techos pretensados, las vigas que salvan claros entre columnas y soportan un piso estructural son generalmente de sección rectangular o de T invertida. La viga rectangular tiene un peralte mayor y es económica desde el punto de vista estructural pero en cuanto al costo total de la

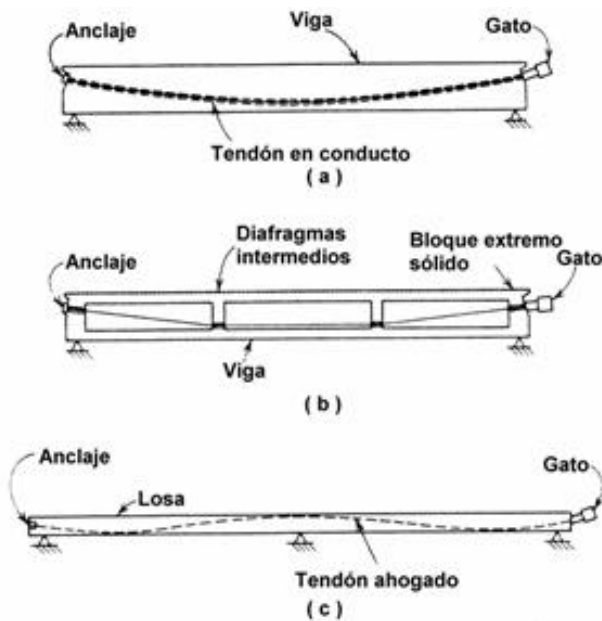
obra puede resultar elevado. Cuando se hace el Presforzado por postensado, generalmente se colocan en los moldes de las vigas ductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el concreto. Los tendones pueden ser alambres paralelos atados en haces, cables torcidos en torones, o varillas de acero. El ducto se amarra con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos sin reforzar) para prevenir su desplazamiento accidental, y luego se vacía el concreto. Cuando éste ha adquirido suficiente resistencia, se usa la viga de concreto misma para proporcionar la reacción para el gato de esforzado. La tensión se evalúa midiendo tanto la presión del gato como la elongación del acero. Los tendones se tensan normalmente todos a la vez ó bien utilizando el gato monotorón. Normalmente se rellenan de mortero los ductos de los tendones después de que éstos han sido esforzados. Se forza el mortero al interior del ducto en uno de los extremos, a alta presión, y se continua el bombeo hasta que la pasta aparece en el otro extremo del tubo. Cuando se endurece, la pasta une al tendón con la pared interior del ducto.



**Fabricación de un elemento postensado**

### **2.1.3 MÉTODO DEL POSTENSADO:**

El uso de acero de alta resistencia para el presfuerzo es necesario por razones físicas básicas. Las propiedades mecánicas de este acero tal como lo revelan las curvas de esfuerzo-deformación, son algo diferentes de aquellas del acero convencional usado para el refuerzo del concreto. Las varillas de refuerzo comunes usadas en estructuras no presforzadas, también desempeñan un papel importante dentro de la construcción del presforzado. Se usan como refuerzo en el alma, refuerzo longitudinal suplementario, y para otros fines. El concreto empleado en miembros presforzados es normalmente de resistencia y calidad más alta que el de las estructuras no presforzadas. Las diferencias en el modulo de elasticidad, capacidad de deformación y resistencia deberán tomarse en cuenta en el diseño y las características de deterioro asumen una importancia crucial en el diseño.



**CONCRETO POSTENSADO:** El postensado es el método de presfuerzo que consiste en tensar los tendones y anclarlos en los extremos de los elementos después de que el concreto ha fraguado y alcanzado su resistencia necesaria.

a) Inmediatamente después de la aplicación del presfuerzo cuando solo existe el peso propio de la viga. Esto es la transferencia o condición inicial y el momento debido a las cargas se designan como  $M_i$ . (momento inicial) generalmente por el peso propio del elemento.

b) Después de que han ocurrido algunas de las pérdidas y la viga soporta cargas de servicio. Estas cargas pueden ser muertas y vivas que se hayan sobrepuestas. Si producen un momento de arqueo -negativo- se designa como  $M_1$ .

El momento total de servicio  $M_s$  en cualquier sección es por lo tanto la suma de  $M_i + M_2$  o  $M_1$ , el que sea apropiado. Obviamente es un miembro de un solo claro libremente apoyado, únicamente puede ocurrir  $M_2$ .

Esfuerzos permisibles: tanto los miembros de un solo claro libremente apoyados sujetos a un momento positivo (colgante) debido a las cargas aplicadas como los esfuerzos en el concreto en las fibras extremas debidos al presfuerzo y al momento aplicado, deben satisfacer las siguientes condiciones: Transferencia inicial: esfuerzo de tensión por flexión  $f_{ti}$  inmediatamente después de establecido el presfuerzo- tomando en cuenta los esfuerzos debidos a  $M_i$ , los esfuerzos de tensión en el concreto no deben exceder el esfuerzo de tensión permisible si la fuerza en el cable queda fuera del núcleo central.

Nota: el núcleo central se define como la zona dentro del núcleo central de la cual debe quedar la fuerza del cable, evitando los esfuerzos de tensión en el concreto debidos al presfuerzo solo. Esta zona se extiende desde una distancia  $Z_1/A$  abajo del centroide de la sección hasta una distancia  $Z_1/A$  arriba de él. Para una sección rectangular es el tercio medio.

#### **2.1.4 TIPOS DE ACERO UTILIZADOS PARA EL CONCRETO PRESFORZADO**

Los alambres redondos que se usan en la construcción de concreto presforzado postensado y ocasionalmente en obras pretensadas se fabrican en forma tal que cumplan con los requisitos de la especificación ASTM A-421, "Alambres sin Revestimiento, Relevados de Esfuerzo, para Concreto Presforzado". Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener varillas redondas. Después del enfriamiento, las varillas se pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta

el tamaño requerido. En el proceso de esta operación de estirado, se ejecuta trabajo en frío sobre el acero, lo cual modifica grandemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia.

Los alambres se consiguen en cuatro diámetros tal como se muestra en la tabla siguiente:

Mínima resistencia de Tensión (N/mm <sup>2</sup> )		Mínimo Esfuerzo para una Elongación de 1% (N/mm <sup>2</sup> )		
Diámetro nominal (mm)	Tipo BA	Tipo WA	Tipo BA	Tipo WA
4.88	*	1725	*	1380
4.98	1655	1725	1325	1380
6.35	1655	1655	1325	1325
7.01	*	1622	*	1295

Los tendones están compuestos normalmente por grupos de alambres, dependiendo el número de alambres de cada grupo del sistema particular usado y de la magnitud de la fuerza pretensora requerida. Los tendones para prefabricados postensados típicos pueden consistir de 8 a 52 alambres individuales.

**2.1.5 El cable Trenzado** se usa casi siempre en miembros pretensados, y a menudo se usa también en construcción postensada.

El cable trenzado se fabrica de acuerdo con la especificación ASTM A-416, "Cable Trenzado, Sin Revestimiento, de Siete Alambres, Relevado de Esfuerzos, Para Concreto Presforzado". Es fabricado con siete alambres firmemente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor. El paso de la espiral del torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable.

Los cables pueden obtenerse entre un rango de tamaños que va desde 6.35 mm hasta 0.60 mm de diámetro, se fabrican en dos grados: el grado 250 y 270 los cuales tienen una resistencia última mínima de 1720 y 1860 N/mm<sup>2</sup> respectivamente, estando estas basadas en el área nominal del cable.

A continuación se muestran en una tabla las propiedades del cable de siete alambres sin revestimiento que se deben cumplir.

<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>Resistencia a la Ruptura (kN)</b>		<b>Área Nominal del Cable (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga mínima para una Elongación de 1% (kN)</b>
		Grado 250		
6.35	40.0		23.22	34.0
7.94	64.5		37.42	54.7
9.53	89.0		51.61	75.6
11.11	120.1		69.68	102.3
12.70	160.1		92.90	136.2
15.24	240.2		139.35	204.2
		Grado 270		
9.53	102.3		54.84	87.0
11.11	137.9		74.19	117.2
12.70	183.7		98.71	156.1
15.24	260.7		140.00	221.5

En el caso de varillas de aleación de acero, la alta resistencia que se necesita se obtiene mediante la introducción de ciertos elementos de ligazón, principalmente manganeso, silicón y cromo durante la fabricación del acero. Las varillas se fabrican de manera que cumplan con los requisitos de la Especificación ASTM A- 277, "Varillas de Acero de Alta Resistencia, Sin Revestimientos, Para Concreto Presforzado". Las varillas de acero de aleación se consiguen en diámetros que varían de 12.7 mm hasta 34.93 mm de diámetro y en dos grados, el grado 45 y el 160, teniendo resistencias últimas mínimas de 1000 y 1100 N/mm<sup>2</sup>, respectivamente, tal como se muestra en la tabla:

<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>Área Nominal de la Varilla (mm<sup>2</sup>)</b>		<b>Resistencia a la Ruptura (kN)</b>	<b>Mínima Carga para una Elongación de 0.7 % (kN)</b>
		Grado 145		
12.70	127		125	111
15.88	198		200	178
19.05	285		285	258
22.23	388		387	347
25.40	507		507	454
28.58	642		641	574
31.75	792		792	712
34.93	958		957	859
<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>Área Nominal de la Varilla (mm<sup>2</sup>)</b>		<b>Resistencia a la Ruptura (kN)</b>	<b>Mínima Carga para una Elongación de 0.7 % (kN)</b>
		Grado 160		
12.70	127		138	120
15.88	198		218	191
19.05	285		316	276
22.23	388		427	374
25.40	507		561	490
28.58	642		708	619
31.75	792		872	765
34.93	958		1059	926

## 2.2 Procedimientos de Construcción

Este capítulo tiene como objetivo describir procesos constructivos de elementos presforzados, pretensados de sistemas prefabricados utilizados en el tramo del viaducto elevado. Las grandes ventajas de estos sistemas ha traído como consecuencia que en nuestro país sea cada vez más común el uso de esta tecnología. Todo puente debe cumplir especificaciones geométricas de pendientes, peraltes, gálibos, entre otros, de acuerdo al peso que circulará sobre y debajo de ellos. Una vez definidas la localización del puente y sus especificaciones geométricas, el ingeniero debe decidir de acuerdo a su intuición, criterio y experiencia el tipo de puente más adecuado para cada caso, apoyándose y con referencia en los estudios topográficos, hidráulicos, de mecánica de suelos y de peligros sísmico y eólico. Dada la importancia que representan los puentes en el paisaje urbano y rural, se deben concebir considerando integralmente su apariencia y funcionalidad, logrando diseños eficientes para soportar cargas de la manera más estética posible. Estos diseños deben de ir más allá de la excelencia técnica e incorporar conceptos de arquitectura urbana y de medio ambiente. Para ello, y debido a que no es posible dar guías universales sobre la estética de un puente, el diseñador debe aplicar imaginación, intuición y creatividad para lograr una estructura funcional, segura, económica y estética, en donde esbeltez, orden, variedad, unidad y ornamentación estén aplicados con sensatez y coherencia. Un puente debe tener una forma estructuralmente expresiva y estética. Un puente debe tener una forma estructuralmente expresiva y estética. En él se debe manifestar de manera clara y bien definida la estructura anatómica del mismo evitando detalles innecesarios y buscando siempre que la estructura tenga apariencia agradable e inspire confiabilidad y estabilidad. En algunos sitios se deben considerar factores locales de costumbres, históricos y arqueológicos, siempre en busca de la integración armoniosa del puente con su entorno.

El puente debe ser visto como un todo. Todos los elementos que lo forman como la superestructura y subestructura, los espacios abiertos dentro y cerca de la estructura, accesos, iluminación y señalización, drenajes, banquetas y parapetos deben complementarse armoniosamente. El puente debe ser visto como un todo. Todos los elementos que lo forman la superestructura y subestructura, los espacios abiertos dentro y cerca de la estructura, accesos, iluminación y señalización, drenajes, banquetas y parapetos deben complementarse armoniosamente. La fabricación de elementos prefabricados de concreto normalmente se lleva a cabo en plantas fijas de producción, las cuales cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar, bajo estrictas normas de calidad, diferentes productos solicitados por la industria de la construcción. También se pueden prefabricar elementos a pie de obra, que por su peso, tamaño o condiciones propias de la obra requieren que sean fabricados en sitio.

El presfuerzo se puede dividir en dos grandes grupos de acuerdo al instante y método de aplicar la fuerza de presfuerzo al elemento: **el Pretensado y el Postensado**. En este nos referiremos al proceso que se lleva a cabo en la fabricación de elementos pretensados en planta y mencionaremos algunas variantes que se presentan en procesos postensados en obra.



### **2.2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES DEL SITIO:**

El sitio para el proyecto deberá ser estudiado en detalle y evaluado para determinar la mejor alternativa para la estructura; los estudios del sitio deberán incluir:

- Perfil del terreno natural sobre el eje de trazo.
- Planta topográfica del sitio.
- Estudio Hidrológico del cruce.
- Análisis de Costos de la región.
- Estudio de Geotecnia (Recomendaciones de Cimentación).

Todos estos estudios determinarán en primera instancia la generación de alternativas de proyecto, una vez estudiadas estas alternativas y en función de su economía, vida útil, costos de mantenimiento y métodos constructivos se elegirá la alternativa mas completa.

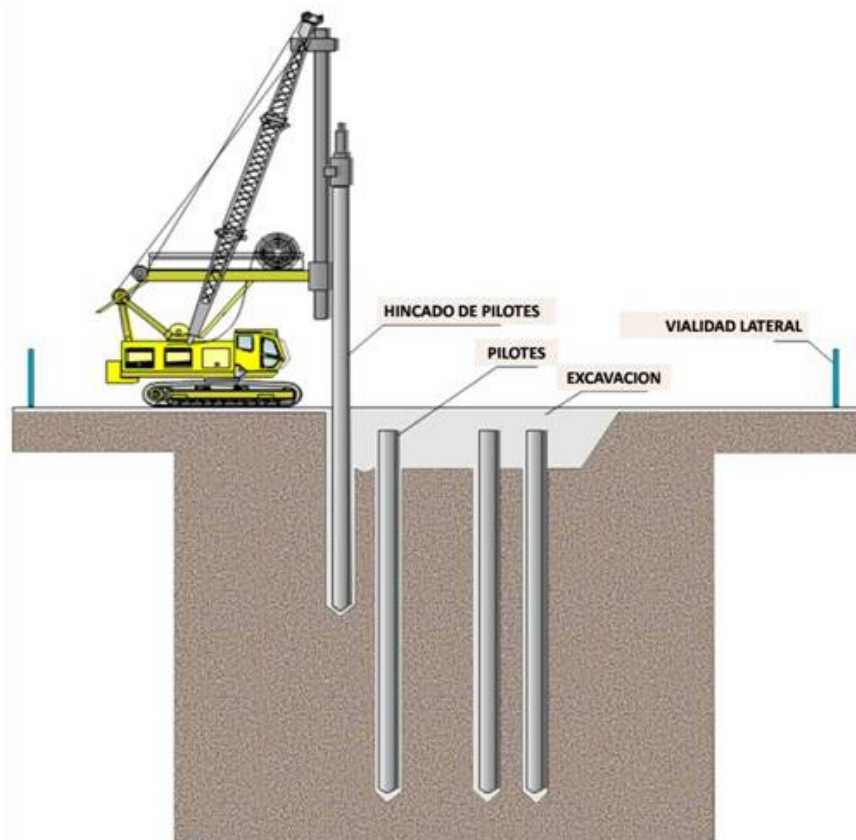
De las alternativas generadas en la etapa de conceptualización del proyecto, se determinan los volúmenes de obra aproximados; así se obtienen las estimaciones de costos de la construcción para cada alternativa, el presupuesto entonces se diseña para estimar los costos con considerable nivel de detalle a partir de los requerimientos de mano de obra, materiales y equipo que se estimaron para cada componente importante de construcción de la alternativa seleccionada.

### **2.2.2 ANALISIS DE ESTUDIO DE CIMENTACION**

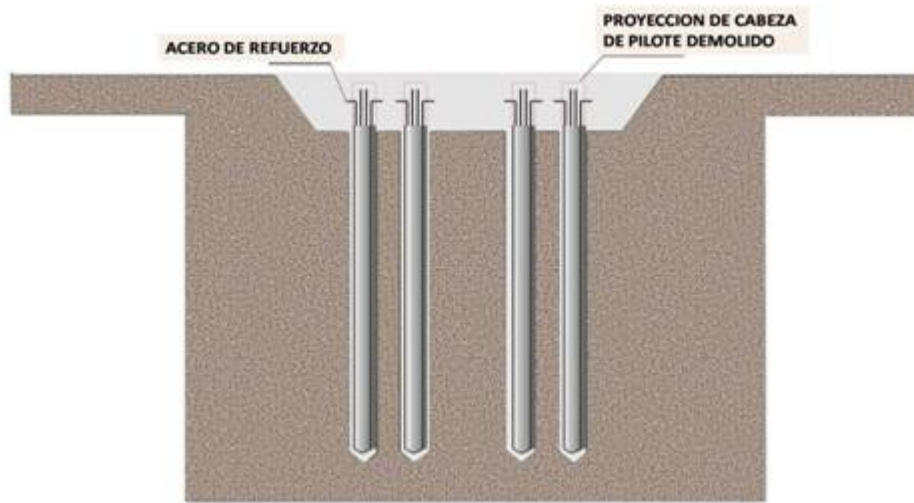
Para poder llegar a una solución de cimentación, es necesario en cada caso, un reconocimiento detallado del terreno, que se realiza mediante sondeos y otras técnicas de tipo geofísico. Entre las obras de ingeniería, los puentes junto con las represas son las obras que transmiten cargas más importantes al terreno. pilares de los puentes, transmiten al terreno cargas que normalmente son de miles o centenares de toneladas. Pero los puentes muchas veces están construidos en puntos complicados precisamente por eso se construyen allí con suelos blandos, en la orilla y en el interior de ríos, en el mar, embalses y otros lugares en que no es fácil construir. Es decir, son cimentaciones grandes y pesadas, apoyadas en terrenos difíciles. Las cimentaciones de los puentes pueden ser superficiales o profundas. Las superficiales mediante zapatas, están limitadas al caso de suelos suficientemente compactos y resistentes o de rocas, fuera del alcance de la socavación del río. Lo más usual, en el caso de puentes, es que las capas superiores del terreno no sean capaces de soportar las cargas, y que el peligro de socavación sea alto, recurriéndose entonces a cimentaciones profundas, que suelen ser pilotes.



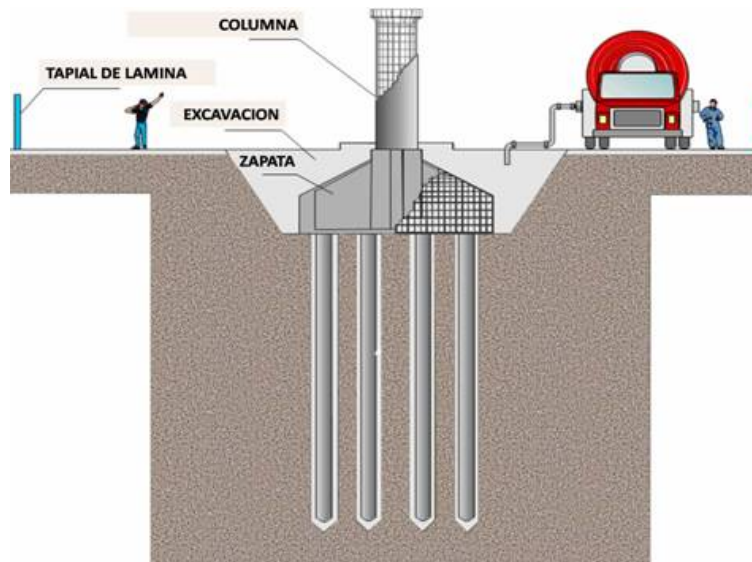
**Pilas de cimentación**



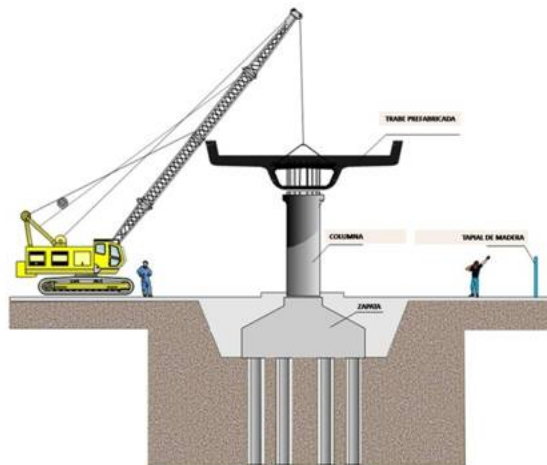
**Hincado de pilotes y excavación de zapatas**



**Descabece de pilotes**



**Colado de cimentación y columnas**



**Montaje de travesaños prefabricados**

### **2.2.3 Conexiones de estructuras postensadas:**

Las estructuras postensadas pueden unirse generalmente mucho más fácilmente que las de concreto armado, mediante el postensado puede asegurarse que la estructura en su totalidad la estructura no desarrolle más que compresiones, por lo tanto el problema de las uniones puede resolverse de un modo muy simple, adosando superficies planas y rellenando con mortero de cemento en los espacios entre ellas. Procediendo de este modo pueden hacerse vigas con piezas prefabricadas más cortas. Así en estructuras postensadas, la formación de uniones no da lugar a dificultades. Normalmente estas uniones son rígidas es decir que no transmiten momentos, sin embargo no es admisible que el mortero con que se rellenan los espacios entre piezas penetre en los conductos de los cables o torones del pretensado. Para evitarlo se unen estos conductos mediante piezas cortas de tubo o anillos de lámina o caucho que entran en los propios conductos.



**Travesaño columna en su conexión**

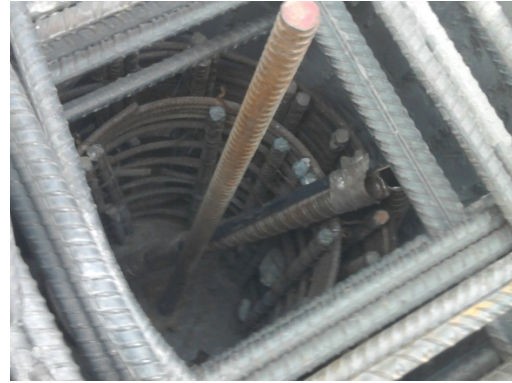


**Encamisado de torones**



## 2.2.4 Conexión de columna zapata y columna trabe:

Después del montaje de la columna prefabricada se colocan los encamisados en las barras, para proceder a el armado de acero de refuerzo en los cuatro nodos que tiene la columna, se habilita el acero de refuerzo con varilla corrugada, para proceder a colocar el concreto de alta resistencia, para finalmente colocar un mortero fluido para rellenar estos nodos al paño de la columna.



Posteriormente al paso de 9 días su resistencia es máxima, el concreto colocado es de fraguado rápido, ya que se agregan acelerantes al concreto para alcanzar su resistencia máxima en un periodo mas corto al tradicional. Recordemos que el tiempo de resistencia en el concreto normal es de 28 días.



Placa tuerca y manguera de inyección

El siguiente paso será quitar el sobrante del encamisado que se coloca, para posteriormente habilitar una placa de acero sobre el anclaje en las barras donde se desplanta la columna, se debe revisar la altura de la barra y que se encuentren centradas ya que si no cumple con estas características se procederá a realizar las reparaciones correspondientes por parte del contratista y colocar una manguera en la parte inferior de la placa para realizar la inyección de mortero posteriormente al realizar el tensado en los 4 nodos de la columna.



**Tensado de anclajes en pila zapata**

Se procede a tensar los nodos de la columna, por medio de un gato hidráulico el cual le aplica presión de 6000 psi en sistema ingles y que equivale a 460 kgf/cm<sup>2</sup> en bares.

Este proceso consta de colocar un copleé en la barra del nodo, tornillo de sujeción, una silleta, para evitar que la placa se recorra durante el tensado y también se pueda descansar una bomba de aceite que se conecta con unas mangueras al gato, se aplica la fuerza en la barra para realizar un empuje hacia el terreno y se toman las lecturas de deformación en mm, en 6 periodos aplicados en periodos de 80 kgf/cm<sup>2</sup> para llegar a los 460 kgf/cm<sup>2</sup> que se requiere según el proyectista. Al termino de las lecturas se aprieta la tuerca de sujeción de la placa para asegurar que la columna ya esta tensada.

Como siguiente paso se procede a montar la trabe en la parte superior para posteriormente interconectar en la parte central de la columna con el extremo de la trabe, se realiza el proceso constructivo muy similar al de la columna pero a diferencia de que son cables de acero que se enductan en un tubo de 4 pulgadas de diámetro el cual resguarda los cables del concreto para evita que penetre en el cable a la hora de colar ya que si el cable se pega ya no será posible tensar el torón. Se debe considerar que los cables en los cuatro nodos estén completos ya que si hay hilos faltantes la aplicación del tensado puede ser deficiente por la falta de cables. Para este proyecto el torón consta de 22 cables de postensado.



Conexión de trabe columna prefabricada

Se colocaran nuevamente ductos a base de un tubo de acero de cuatro pulgadas de diámetro, nuevamente los cables se resguardan dentro y en la parte superior al ducto sobre el armado de acero de refuerzo y estribos, se colocan unas placas metálicas que descansan sobre los estribos y resortes que en la conexión de la trabe son necesarios según proyecto. Por ultimo se sellaran en la parte superior con una cinta adhesiva para poder garantizar que los cables permanezcan libres de concreto.



Posteriormente se habilita el nodo con concreto de alta resistencia y se coloca una cimbra en forma de cajón en cada uno de los 4 nodos para proteger la entrada del concreto al encamisado por la parte superior ya que el tubo sirve para aislar el concreto en la parte inferior. Se realiza la limpieza del cajón y se coloca una placa circular con 22 perforaciones que pertenecen a cada uno de los cables del torón que se sujetan por medio de cuñas en cada cable con las cuales servirán para tensar los torones de la trabe columna. Con un gato hidráulico y una bomba de aceite nuevamente se le aplica la presión de la misma forma que en la pila zapata pero al diferencia radica en que el empuje se realiza hacia la columna para de esta manera sujetar la trabe y transmitir los esfuerzos a la cimentación.





Placa y cuñas para tensado



Proceso de tensado con gato hidráulico

Por último se inyectarán con una mezcla de mortero para que el nodo garantice la resistencia aplicada con el equipo de tensado, y de esta forma se realizan las interconexiones en los nodos del prefabricado en trabe columna y columna zapata.



Sección terminada del viaducto elevado

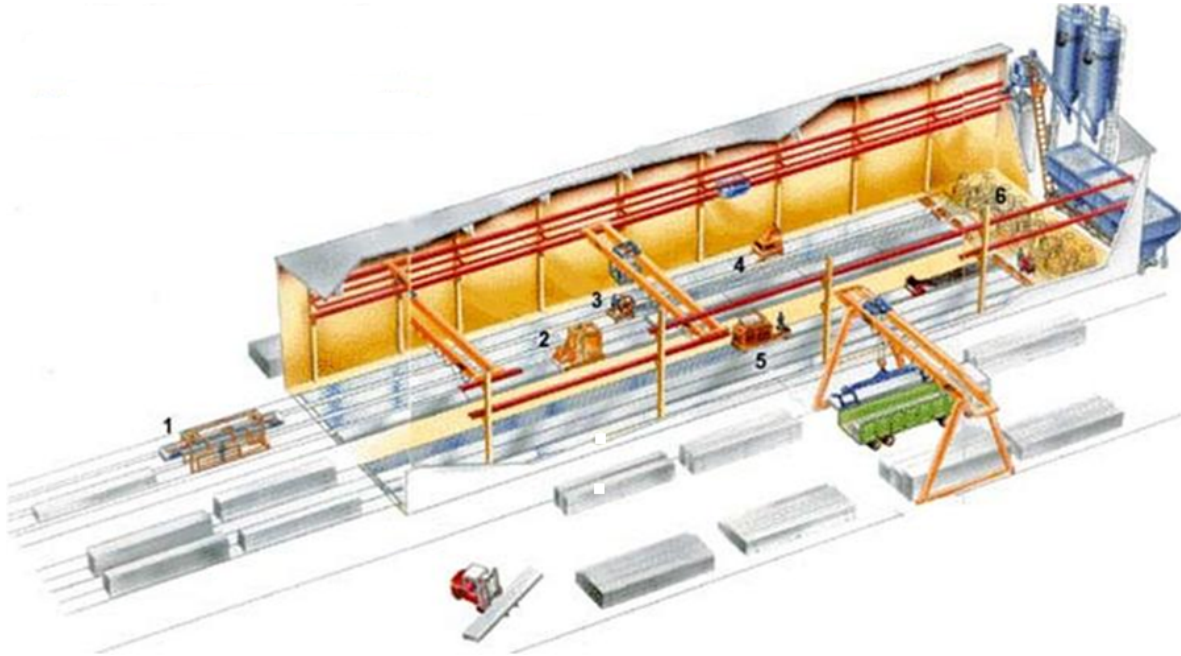
La fabricación de elementos prefabricados de concreto se lleva a cabo en plantas fijas de producción, que cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar, bajo estrictas normas de calidad, diferentes productos solicitados por la industria de la construcción. También se pueden prefabricar elementos a pie de obra, que por su peso, tamaño o condiciones propias de la obra requieren que sean fabricados en sitio.

El equipo y maquinaria necesaria para la elaboración de elementos prefabricados presforzados se enlista como sigue:

- Mesas de vaciado, muertos y anclajes.
- Encofrado de madera o metálico.
- Dosificadora y mezcladora de concreto (en caso de fabricar el concreto en planta).
- Equipo para depositar el concreto en el molde como chutes y mixers.
- Zonas de retoque, resane y de almacenaje.
- Silos de almacenamiento.
- Vibradores de concreto.
- Gatos hidráulicos y bomba para el tensado de los cables.



- Talleres y equipo para cortar y doblar varillas y accesorios metálicos.
- Equipos para cortar los cables (cortadora o equipo de oxicorte).
- Grúas sobre camión o grúas pórtico para desmolde y transporte interno de elementos.
- Equipo de transporte (Trailers con plataformas).



**Elaboración de prefabricados en planta**

### **Pasos para la construcción de un prefabricado en sitio**

- Trazo y replanteo
- Solado
- Emplantillado (fondo de viga)
- Armadura de viga prefabricada
- Encofrado de 1° cara de viga
- Colocación de ductos para cables postensados
- Encofrado de 2° cara de viga
- Encofrado de aleros de viga
- Armadura de tablero de viga
- Encofrado de frisos de viga
- Vaciado de Concreto
- Fragua
- Tensado de ductos de cables de postensado
- Inyección de mortero líquido en ductos de postensados



**SOLADO**



**ENCOFRADO DE FONDO DE VIGA**



**COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO**



**COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO**



**CIMBRA 1ra CARA Y DUCTOS DE POSTENSADO**



**COLOCACIÓN DE CIMBRA 2da CARA**



**APUNTALAMIENTO DE LA CIMBRA**



**CIMBRA EN ALEROS DE LA TRABE**





**COLOCACIÓN DE ACERO SUPERIOR**



**VACIADO DE CONCRETO**



**VACIADO Y VIBRACIÓN DEL CONCRETO**



**VACIADO TERMINADO CON DUCTOS PARA INYECCIÓN**



**RETIRO DE CIMBRA**



**TENSADO DE TRABES**



**RELLENO DE MORTERO LÍQUIDO**



**ALMACENAJE DE VIGAS**

Para fines de las presentes Normas se considerarán los siguientes elementos de acero para presfuerzo:

- **Alambre:** Refuerzo de acero de presfuerzo que cumple con los requisitos indicados en la sección 1.5.2 de la norma mexicana (NMX) y que, por lo general, se suministra en forma de rollos
- **Barra:** Refuerzo de acero que puede ser de presfuerzo, que cumple con las normas (NMX-B-293 o NMX-B-292) y que comúnmente se suministra en tramos rectos.
- **Torón:** Grupo de alambres torcidos en forma de hélice alrededor de un alambre recto longitudinal.
- **Cable:** Elemento formado por varios alambres o torones.
- **Tendón:** Elemento utilizado para transmitir presfuerzo, que puede estar formado por alambres, barras o torones individuales o por grupos de éstos

## 2.2.5 Pretensado

El término pretensado se usa para describir cualquier método de presforzado en el cual los tendones se tensan antes de colocar el concreto.

Los tendones, que generalmente son de cable torcido con varios torones de varios alambres cada uno, se re-estiran o tensan entre apoyos que forman parte permanente de las instalaciones de la planta, como se ilustra en la Figura.

Se mide el alargamiento de los tendones, así como la fuerza de tensión aplicada por los gatos.

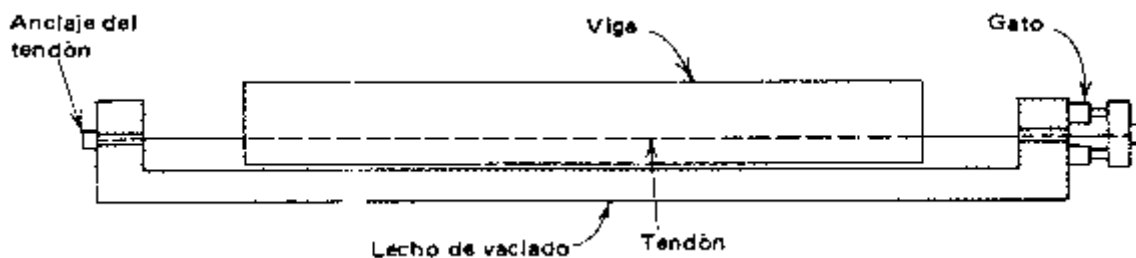


Figura Fabricación de un elemento pretensado

Con la cimbra en su lugar, se vacía el concreto en torno al tendón esforzado. A menudo se usa concreto de alta resistencia a corto tiempo, a la vez que curado con vapor de agua, para acelerar el endurecimiento del concreto. Después de haberse logrado suficiente resistencia, se alivia la presión en los gatos, los torones tienden a acortarse, pero no lo hacen por estar ligados por adherencia al concreto. En esta forma, la forma de presfuerzo es transferida al concreto por adherencia, en su mayor parte cerca de los extremos de la viga, y no se necesita de ningún anclaje especial.

Características:

1. Pieza prefabricada
2. El presfuerzo se aplica antes que las cargas
3. El anclaje se da por adherencia
4. La acción del presfuerzo es interna
5. El acero tiene trayectorias rectas
6. Las piezas son generalmente simplemente apoyadas (elemento estático)

## 2.2.6 Postensado

Contrario al pretensado el postensado es un método de presforzado en el cual el tendón que va dentro de unos conductos es tensado después de que el concreto ha fraguado. Así el presfuerzo es casi siempre ejecutado externamente contra el concreto endurecido, y los tendones se anclan contra el concreto inmediatamente después del presforzado. Este método puede aplicarse tanto para elementos prefabricados como colados en sitio.

Generalmente se colocan en los moldes de la viga conductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el concreto, como se ilustra en la siguiente figura:

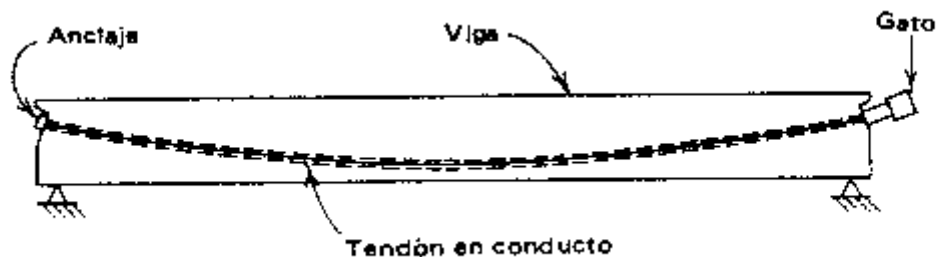


Figura 7. Fabricación de un elemento postensado

## Características:

1. Piezas prefabricadas o coladas en sitio.
2. Se aplica el presfuerzo después del colado.
3. El anclaje requiere de dispositivos mecánicos.
4. La acción del presfuerzo es externa.
5. La trayectoria de los cables puede ser recta o curva.
6. La pieza permite continuidad en los apoyos (elemento hiperestático).

## Elementos pre y postensados

Hay ocasiones en que se desean aprovechar las ventajas de los elementos pretensados pero no existe suficiente capacidad en las mesas de colado para sostener el total del presfuerzo requerido por el diseño del elemento; en otras, por las características particulares de la obra, resulta conveniente aplicar una parte del presfuerzo durante alguna etapa posterior a la fabricación. Al menos ante estas dos situaciones, es posible dejar ahogados ductos en el elemento pretensado para postensarlo después, ya sea en la planta, a pie de obra o montado en el sitio.

El método usual de presfuerzo consiste en emplear tendones de acero tensados que se incorporan permanentemente al elemento. Por lo general los tendones se forman de alambre de alta resistencia, torones o varillas, que se colocan aisladamente o formando cables. Existen dos métodos básicos para usar tendones: pretensado y postensado. En el pretensado primero se tensa el acero entre los muertos de anclaje y posteriormente el concreto es colocado alrededor del acero y en moldes que dan forma al elemento. Cuando el concreto ha alcanzado suficiente resistencia a la compresión se libera el acero de los muertos de anclaje, transfiriendo la fuerza al concreto a través de la adherencia existente entre ambos.

Las ventajas del presfuerzo, ideado por el francés Eugene Freyssinet, sobre los miembros normales de concreto reforzado son las siguientes:

- Producción de miembros estructurales a gran escala
- Mayor control de agrietamientos
- Se evitan deformaciones verticales
- Mayor capacidad de carga con menor sección
- Considerable ahorro en cimbra y obra falsa
- Rapidez de construcción
- Reducción de carga muerta
- Mayor aprovechamiento del concreto
- Considerable ahorro en mano de obra

En el Postensado primero se coloca el concreto fresco dentro del molde y se deja endurecer previo a la aplicación del presfuerzo. El acero puede colocarse en posición con un determinado perfil, quedando ahogado en el concreto, para evitar la adherencia se introduce el acero dentro de una camisa metálica protectora; o bien pueden dejarse ductos en el concreto, pasando el acero a través de ellos una vez que ha tenido lugar el endurecimiento. En cuanto se ha alcanzado la resistencia requerida del concreto, se tensa el acero contra los extremos del elemento y se ancla, quedando así el concreto en compresión. El perfil curvo del acero permite la distribución efectiva del presfuerzo dentro de la sección. El uso de tendones rectos no es el modo más eficiente de utilizar la fuerza de presfuerzo al tratarse de grandes unidades. En aquellos puntos donde ocurre el momento máximo se requiere de la



máxima fuerza efectiva de presfuerzo y por otra parte la mínima fuerza de presfuerzo es necesaria donde ocurre el mínimo momento flexionante. Ello puede lograrse para una fuerza constante de presfuerzo variando la excentricidad de la fuerza, de tal manera que, en una sección cualquiera a lo largo del elemento, el efecto del presfuerzo neutralizará el efecto de la carga.

Para fines de las presentes Normas se considerarán los siguientes elementos de acero para presfuerzo:

La fabricación de elementos prefabricados de concreto se lleva a cabo en plantas fijas de producción, que cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar, bajo estrictas normas de calidad, diferentes productos solicitados por la industria de la construcción.

También se pueden prefabricar elementos a pie de obra, que por su peso, tamaño o condiciones propias de la obra requieren que sean fabricados en sitio.

Prefabricados de concreto

Para el inicio de la construcción del prefabricado se describe a detalle cada una de las actividades del proceso de elaboración, el cual procedo a describir con el fin de dar a conocer la forma de como conseguimos elaborar un buen prefabricado.

## **2.2.7 EQUIPO E INSTALACIONES:**

El equipo y maquinaria necesarios para la elaboración de elementos prefabricados se enlista como sigue:

- ✓ Zonas de retoque, resane y de almacenaje.
- ✓ Extrusoras.
- ✓ Silos de almacenamiento.
- ✓ Mesas de colado, muertos y anclajes.
- ✓ Moldes.
- ✓ Dosificadora y mezcladora de concreto (en caso de fabricar el concreto en
  - planta).
- ✓ Equipo para depositar el concreto en el molde como vachas y camión revolvedor
- ✓ Vibradores de concreto.
- ✓ Gatos hidráulicos y bomba para el tensado de los cables.
- ✓ Máquinas soldadoras para elaboración de accesorios.
- ✓ Talleres y equipo para cortar y doblar varillas, placas y accesorios
  - metálicos.
- ✓ Equipos para cortar los cables (cortadora o equipo de oxicorte).
- ✓ Grúas sobre camión o grúas pórtico para desmolde y transporte interno de elementos.
- ✓ Equipo de transporte (Trailers con plataformas).
- ✓ Calderas y mangueras para suministrar vapor en el proceso de curado acelerado de los elementos y lonas para cubrirlos.
- ✓ Equipo para llevar a cabo el control de calidad del concreto y del producto terminado.

- ✓ Equipos para cortar los cables (cortadora o equipo deoxicorte).
- ✓ Grúas sobre camión o grúas pórtico para desmolde y transporte interno de elementos.
- ✓ Equipo de transporte (Trailers con plataformas).
- ✓ Calderas y mangueras para suministrar vapor en el proceso de curado acelerado de los elementos y lonas para cubrirlos.
- ✓ Equipo para llevar a cabo el control de calidad del concreto.



**Vista de las instalaciones para almacenaje y preparación de acero en planta**

### **2.2.8 MATERIALES:**

Las estructuras y sus miembros componentes son de concreto presforzado con tendones de acero, o de concreto prefabricados reforzados con tendones de acero estándar. El concreto empleado en dichos elementos es normalmente de resistencia más alta que el de las estructuras coladas en obra y sus características físicas. El uso de acero de muy alta resistencia para el presfuerzo es necesario por razones físicas básicas explicadas.

Algunas consideraciones en cuanto al manejo de los materiales en una planta de fabricación se pueden resumir en los siguientes puntos:

Los agregados deben de manejarse y almacenarse de tal forma que aseguren la uniformidad en su granulometría y humedad. Si los agregados se almacenan en montones, éstos deberán ser casi horizontales o con muy pequeña pendiente. Se deben evitar montones de forma cónica o descargar los agregados de manera que éstos rueden por los lados de pendientes muy grandes pues esto provoca segregación.

Para evitar que se mezclen los diferentes tipos de agregados es recomendable separarlos por paredes o a una distancia razonablemente amplia entre ellos.

El agregado fino deberá manejarse húmedo, para minimizar que los finos se separen por acción del viento.

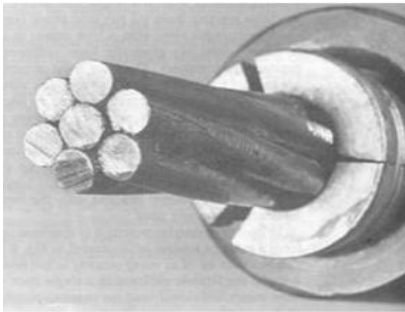
Cuando se usa cemento a granel deberá almacenarse en silos sellados contra el agua, humedad y contaminantes externos. Los silos deberán de vaciarse completamente por lo menos una vez al mes para evitar que el cemento se compacte. Cada tipo, marca y color de cemento deberán de almacenarse separadamente.

El cemento en bolsa deberá almacenarse en pilas sobre paletas de madera que eviten el contacto con la humedad y permitan la circulación del aire. Si las bolsas se almacenan por mucho tiempo deberán taparse con una cubierta impermeable. Se guardarán de tal forma que las primeras bolsas almacenadas sean las primeras en ser utilizadas. Para los aditivos y



pigmentos cada fabricante específico la forma de almacenarlos. Seguir las indicaciones del fabricante asegurará el buen funcionamiento y durabilidad del producto. El acero de presfuerzo deberá almacenarse en lugares cubiertos o protegerlos con cubiertas impermeables para evitar la corrosión.

Concreto.- Alta resistencia, entre 350 Kg/cm<sup>2</sup> y 800 kg/cm<sup>2</sup> Acero de Presfuerzo.- Alambres, torones o varillas de acero. Acero de Refuerzo.- Aumentar ductilidad, resistir corte y torsión. Acero Estructural.- para conexiones, apoyos y como protección.



Torones



Acero de Refuerzo



Concreto Alta Resistencia

1.- SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS: (Norma Mexicana NMX- C -111 vigente) Siempre se debe intentar trabajar con los elementos que nos proporcionen el medio y los que más cerca esté de nuestra planta para reducir costos. Previamente deben llevarse muestras a un laboratorio para someterlas a un análisis de Granulometría con el objeto de determinar la correcta gradación de los tamaños. La idea con esto es establecer las dimensiones que mejor se ajustan, para obtener al menor costo, la resistencia exigida. En este punto es probable necesitar varios tipos de agregados, gravas de máximo ¾" y arenas finas o gruesas, hasta llegar a la gradación correcta. No es fácil mantener esta homogeneidad ya que no siempre se tiene la certeza de recibir el agregado de la misma procedencia, de allí que sea importante practicar pruebas de granulometría de control. Unos de los mejores agregados son los de río, ya que vienen lavados y libres de contaminantes como la arcilla, grasas o aceites. Deben estar libres de materia orgánica como raíces, hojas o cualquier otro elemento contaminante. En este punto fue donde cometimos el primer error, visitamos una cantera de piedra caliza y logramos negociar un material que tenían en grandes cantidades, residuo del proceso, con un valor de aproximadamente 50% menos que el de río; era un material tipo mixto con diferentes gradaciones desde un polvillo hasta un tamaño máximo de 1 cm. A simple vista parecía un buen agregado fino. Decidimos seleccionarlo mejor, por lo que con una criba separamos el fino del grueso y con esto poder dosificarlo con mayor exactitud Previamente se habían realizado pruebas con este material en una maquina vibradora sencilla con una forma y tamaño de bloque diferente, y los resultados fueron satisfactorios.

Empezamos a producir con este material, con diseños de mezcla y dosificaciones previamente establecidas con el ánimo de hacer los ajustes necesarios pues no es lo mismo producir en una maquina que en otra, ya que cada una imprime su propio sello en cuanto a vibración, compactación, medidas y tamaño de los bloques, etc. Los elementos salieron con un excelente acabado, de forma y dimensiones acordes a las exigidas, por lo que

autorizamos continuar con la producción. Se tomaron muestras, para llevar a laboratorio a fallar en 7, 14, 21 y 28 días. como alternativa económica para producir prefabricados La teoría lo dice todo, los ensayos con los agregados, agua y cemento deben realizarse antes de empezar producción.

## 2. SELECCIÓN DEL AGUA: (Norma Mexicana Nmx C- 122-1982, agua para concreto)

Si el agua sirve para el consumo humano entonces es buena para producir concreto. si vamos a trabajar con un agua diferente es importante hacer un análisis químico para conocer su comportamiento.

## 3. SELECCIÓN DEL CEMENTO: (NMX C-414, C-001, NMX C-002 y NMX C-175)

Lo conocemos de varios tipos los más importantes para la industria prefabricadora son:

Portland Tipo I: El más común, se consigue en cualquier ferretería en bultos de 50 Kg o 42 Kg. Ofrece buena resistencia a 28 días.

Portland Tipo III: Se solicita bajo pedido y lo suministran a granel, es un poco mas costoso que el tipo I. Ofrece altas resistencias a edades tempranas. Se debe disponer de silo en la planta para su almacenamiento y dosificación. La selección de uno u otro tipo dependerá de la infraestructura física, los costos de producción y el beneficio de obtener resistencias tempranas. Con la globalización económica, México se vio obligado a actualizar la normalización del cemento, mismo que tiene un fin, principalmente de actualizarse a nivel mundial y con ello, cumplir con las exigencias internacionales. Apoyados con la Ley Federal de Metrología y Normalización, se formo el grupo de Normalización del ONNCCE, para realizar la revisión y actualización de las normas técnicas del cemento, así se creó la NORMA MEXICANA NMX C-414-ONNCCE-1999, "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION- CEMENTOS HIDRAULICOS-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA", misma que entró en vigor a partir del 19 de Octubre de 1999. Con el cambio de norma, se canceló las anteriores NMX C-001, NMX C-002 y NMX C-175, que regulan las especificaciones para cementos portland, cementos puzolanicos y cementos con escoria granular de alto horno, respectivamente.

## 4. DE LA DOSIFICACIÓN: (NMX C-001, NMX C-002 y NMX C-175)

Las proporciones de los agregados deben permitir la mayor compactación posible, con un mínimo de cemento. Esto ahorra dinero. El fabricante de las maquinas normalmente suministra unas dosificaciones, que servirán como guías para hacer las pruebas necesarias. Es importante que se realicen varios diseños de mezcla para poder determinar cual ofrece mejor relación costo-beneficio.

Dosificación por Peso o por Volumen: Es inherente a la infraestructura de la que se dispone. Normalmente un sistema de dosificación por peso es costoso. Este es el mejor sistema, sin embargo, es posible hacer una buena dosificación por volumen, esto implica hacer equivalencias peso-volumen (Kg-Lt) y supervisar que siempre se mantenga la misma cantidad. Los recipientes utilizados para esta dosificación siempre deben ser los mismos. La dosificación dependerá del tipo de prefabricado a producir y de la resistencia solicitada.

Proporciones: En nuestra planta se realiza la dosificación por volumen de la siguiente forma: 1 : 4 : 6 lo que significa que por cada parte de cemento se deben incorporar 4 de agregado fino y 6 del grueso. Esto es un ejemplo de proporcionamiento para elaborar concreto que cumpla con los requerimientos necesarios para la calidad del prefabricado. No

quiere decir que funcionará para todos, por lo que siempre se deben realizar pruebas previas.

**Relación Agua-Cemento: (a/c).** En los prefabricados de concreto la mezcla debe ser seca, Utilizamos la menor cantidad de agua posible porque necesitamos que el elemento se sostenga por si mismo. La relación a/c es uno de los parámetros que más afecta la resistencia del concreto, pues a medida que aumenta, aumentan los poros en la masa y por ende disminuye la resistencia.

**Humedad Natural:** Normalmente es común recibir los agregados en la planta con cierto grado de humedad por lo que se recomienda dejarlos reposar al menos 2 días, si esto no es posible entonces se debe determinar el porcentaje de humedad para descontarlo del agua de hidratación y de esta forma no se nos altere la relación agua-cemento. En algunas visitas practicadas me he encontrado con que siempre mantienen los agregados húmedos, esto para facilitar la determinación del agua de hidratación.

- Cantidad agua de Absorción de los Agregados: (% de absorción).** Cuando en la mezcla se incorporan agregados secos es normal que estos absorban cierta cantidad de agua, por lo que debe determinarse este porcentaje para hacer la compensación respectiva y evitar que el concreto resulte con insuficiente agua de hidratación.

- Cantidad Agua de Hidratación del Cemento: (% de hidratación).** Es la cantidad de agua que necesita el cemento para poder hidratarse y llegar a obtener la resistencia exigida. Se determina por la relación a/c.

Recomiendo las publicaciones del ICPC: Registro grafico para control de calidad de agregados y Fabricación de Bloques de Concreto.

## 5. DEL PROCESO DE MEZCLADO

- Orden de ingreso de la materia prima a la mezcladora:** La teoría dice que se debe comenzar con el agregado grueso, después el fino y posteriormente el cemento, sin embargo, en la práctica tuvimos que cambiar ese orden, dado que nuestra mezcladora era de eje horizontal al vaciar la gravilla esta se depositaba en el fondo y había una parte que no se mezclaba correctamente. Decidimos incorporar primero la arena, después la grava y posteriormente el cemento, obteniendo mejores resultados. En última instancia se aplicaba el agua.

- Tiempos de Mezclado:** Para nuestro caso eran necesarios 3 minutos. Si le damos menos no teníamos homogeneidad y si nos pasamos entonces el concreto sufre segregación de materiales. Es importante determinar el tiempo exacto.

## 6. DE LOS MOLDES DEL PREFABRICADO

- Fabricación:** Por lo general el fabricante de planta suministra el plano con las especificaciones y dimensiones técnicas necesarias para su fabricación. En nuestro caso sus dimensiones son de 12 m cada una de las trabes, con un peso por cada elemento de 360 ton. Se Puso especial cuidado en este punto, y el proceso fue de fabricación por ser en planta fue elaborado conforme a normatividad vigente para elementos prefabricados (NMX-C-406-1997), con un cuidado específico en sus materiales como son, acero, agregado, agua, cemento, aditivo, desmoldantes y limpieza de las mesas, moldes o cimbras de colado y pretensado para la elaboración de trabes tipo W y las columnas prefabricadas tipo oblongas.

- Acabados:** La superficie superior debía estar completamente plana y lisa, con un acabado tipo aparente, sin separaciones entre sus conexiones. No se aceptaban si estaban pandeadas.

Una semana antes de su despacho debían ser sometidas a un baño de aceite quemado y secarlas a la sombra.

Una planta de prefabricación deberá contar con las instalaciones propias para la elaboración de elementos de concreto de alta calidad. Para ello se requieren moldes que permitan al personal encargado de la producción, fabricar elementos que cumplan con las especificaciones de calidad y dimensiones del proyecto.

La apariencia en la superficie de cualquier elemento precolado está directamente relacionada con el material y la calidad de los moldes.

Éstos se pueden hacer de materiales como madera, concreto, acero, plástico, fibra de vidrio con resinas de poliéster, yeso o una combinación de estos materiales. Para la fabricación de elementos estructurales, los moldes son generalmente de acero, concreto o madera, siendo los otros materiales más usuales en la prefabricación de elementos arquitectónicos de fachada.

Los moldes deberán de construirse suficientemente rígidos para poder soportar su propio peso y la presión del concreto fresco, sin deformarse más allá de las tolerancias convencionales.

Los moldes de madera deberán ser sellados con materiales que prevengan la absorción.

Los de concreto deberán tratarse con una membrana de poliuretano que tape el poro de la superficie para evitar la adherencia con el concreto fresco y permitir el desmolde de la pieza sin daños.

Los de plástico no se deberán de usar cuando se anticipen temperaturas superiores a los 60 grados centígrados. Algunos plásticos son susceptibles a agentes desmoldantes por lo que deberá analizarse la factibilidad de su uso. Cuando se usen moldes de acero se asegurará que no exista corrosión, bordes de soldadura o desajustes en las juntas.

•Cuidados y Mantenimiento: Después de cada uso se le debe pasar una espátula para desprender los residuos de concreto y una vez a la semana un baño con aceite quemado. Deben ser correctamente almacenadas para evitar que se doblen.



**Molde para elaboración de trabe**

En el sistema de prefabricación pretensada, algunos moldes están fabricados de tal forma que los cables o torones de presfuerzo se anclan en los extremos del mismo molde. A estos moldes se les denomina autotensables y pueden ser de concreto o de acero. Los moldes autotensables de concreto se usan en plantas fijas de prefabricación y la fuerza

presforzante se transmite entre los dos anclajes extremos a través de traveses o paredes longitudinales de concreto propias del molde. Los moldes autotensables de acero contienen canales, vigas o tubos adosados a los lados del molde, que transmiten la fuerza del presfuerzo en toda la longitud. Por su relativa ligereza y capacidad de poder seccionarse, este tipo de moldes se pueden usar para prefabricar elementos a pie de obra. Estos moldes deberán de ser lo suficientemente rígidos para soportar la fuerza sin pandearse o deformarse fuera de las tolerancias requeridas.



**Molde metálico autotensable de sección I**



**Molde y mesa de colado de concreto presforzado para traveses doble T**

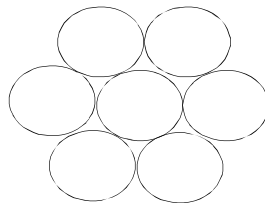
## 7.- EL ACERO DE PRESFUERZO DE ALTA RESISTENCIA.

Este se puede ubicar en tres formas:

1. Alambres. La fabricación de estos alambres es basada en barras, por un proceso llamado de “Hogar abierto” u “Horno eléctrico”. Después de haber pasado por la fusión de componentes metalúrgicos y haber alcanzado las propiedades físicas y químicas requeridas, se estiran en frío hasta alcanzar el diámetro requerido, por medio de un tratamiento térmico continuo a baja temperatura (aproximadamente 370°C) propiciando, las propiedades mecánicas requeridas. Estos alambres tienen módulos elásticos que van desde los 17000 Kg./cm<sup>2</sup> y los 19000 Kg./cm<sup>2</sup>.

2. Torones. Encontramos variedades de los mismos, aunque para fines de presforzado los más comunes son los de 7 hilos, pero la elección del tipo de torón depende del grado de flexibilidad y de su resistencia requerida. Es frecuente el uso de torones cambiando al igual que los torones su diámetro, variando desde 3/8” hasta 3/4” conocidos nominalmente como 0.4”, 0.5”, 0.6” y 0.7” (décimas de pulgada).

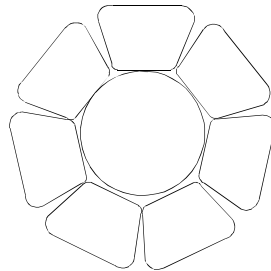
Para formar un torón de 7 hilos se enrollan 6 alambres que tienen un diámetro ligeramente menor que el central en forma helicoidal, alrededor de este último, el cual recibe el nombre de núcleo interior, como se observa a continuación.



**Torón Normal de 7 hilos.**



Aunque también existen torones llamados compactos, que también es de 7 hilos, cuya diferencia radica en los alambres de la envolvente de estos tienen una forma elíptica, que de la misma forma encierran al núcleo central, conservando así el diámetro nominal del acero de presfuerzo, aunque los alambres que envuelven al núcleo interior



Torón Compacto de 7 hilos.

<b>Acero de presfuerzo</b>			
Tipo de Acero	Peso (kg/ml)	Tensión que resiste (kg/cm <sup>2</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )
5 mm	0.149	2,250	0.196
7 mm	0.298	4,800	0.385
1/4"	0.179	2,850	0.230
3/8"	0.432	7,350	0.550
1/2"	0.789	13,200	0.987
9/16"	0.970	16,500	1.238
5/8"	1.103	18,650	1.400

3. Barras (varillas) de alta resistencia. Se prueban usualmente a esfuerzos de por lo menos el 90% de su resistencia a la ruptura, siendo de 10200 Kg./cm<sup>2</sup>. el tratamiento que se les da a estas barras en su proceso de fabricación es el mismo que la de los alambres y los torones, estirándose en frío para obtener las propiedades deseadas.

Este tipo de barras pueden laminarse con rosca o con cuerda, en sus extremos para que se puedan utilizar con propósitos de anclaje o para conectarse entre ellas, estas normalmente se ocupan en el anclaje de taludes.

Normalmente los alambres y los torones son lisos exceptuando a las barras bajo estas condiciones, pues estas se encuentran de las dos formas, sin embargo el uso y aplicación de cada una de estas varía según en donde se requiera utilizar.

El presfuerzo debe cumplir con las especificaciones que impone la ASTM las cuales son: ASTM A-421, ASTM A-416, ASTM A722, por mencionar algunas. Los productores de acero tienen la obligación de emitir un estándar de calidad, control, operaciones y especificaciones, para que pueda garantizarse la calidad de materiales que envían al mercado.

## 8.- MESA DE COLADO:

Las mesas de colado en una planta de prefabricados son líneas de producción de gran longitud. La longitud de las mesas varía de acuerdo a las limitaciones de las plantas entre 60 y 150 m dependiendo del tipo de elemento. El presforzado simultáneo de varios elementos a la vez en una misma mesa de colado tiene como resultado una gran economía de mano de obra, además de eliminar el costoso herraje del anclaje en los extremos, propios del postensado.

Los soportes sobre los que se anclan los cables se llaman “muertos” y están localizados en los extremos de la mesa de colado. Los muertos son bloques de concreto enterrados en el suelo de dimensiones y peso tales que resisten por la acción de su peso el momento de volteo que produce la fuerza de tensado. Por el costo de los muertos y su condición de instalación fija se utilizan generalmente en líneas de producción de gran longitud. Entre los muertos se pueden colocar moldes totalmente fijos de acero, o moldes intercambiables de acero, madera o mixtos de acuerdo a la sección que se requiera fabricar.

Los moldes autotensables de acero no requieren de muertos para soportar la fuerza de presfuerzo. Solamente se deben fijar a una mesa de concreto que permita el movimiento longitudinal debido a la contracción y dilatación del molde en el caso de ser metálicos.



Molde autotensable de acero (trabe doble T)

## PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN:

- ✓ Colocación del fondo de la cimbra
- ✓ Desmoldante
- ✓ Colocación y tensado de torones
- ✓ Colocación de acero de refuerzo y estructural
- ✓ Colocación de costados con desmoldante
- ✓ Colado
- ✓ Vibrado (inmersión, molde vibrador, extrusoras)
- ✓ Cubierta con lonas y curado con vapor (6-10 horas)
- ✓ Revisión del  $f'c$  y cortado de torones (en orden)
- ✓ Descimbrado de costados
- ✓ Extracción y resane
- ✓ Almacenaje

## 9.- EN LA ELABORACIÓN DE LOS PREFABRICADOS.

- Tiempos de Vibración: En nuestra planta manejamos 2 tiempos de vibrado, el primero para ayudar a llenar el molde y el segundo para compactar.
- Retiro de las Bandejas: Hay dos formas de retirar las bandejas con los bloques frescos, con montacargas (sistema utilizado en instalaciones automáticas) ó de forma manual, que era como lo hacíamos en nuestra planta. Se deben evitar movimientos bruscos y de ser posible disponer de un carro o grúa transportador de bandejas.

## 10.- DEL FRAGUADO

Transporte a la Zona de Fraguado: se tienen transportadores de bandejas o moldes con llantas de aire, se debe contar con una superficie adecuada para al tránsito de éstos, cada uno debe ser capaz de transportar el prefabricado. Resultan muy útiles cuando de producción masiva se trata ya que también se pueden utilizar para hacer la recogida al día siguiente. Es esta zona depositamos con mucho cuidado las bandejas con los bloques frescos en el piso y allí dejamos fraguar el concreto hasta el día siguiente.

Curado en la zona de fraguado: En esta zona permanecen toda la noche y se debe tener la precaución de no dejar que los bloques se sequen, por lo que se hace necesario disponer a una persona que permanezca rociándolos con agua. Dependiendo de la zona del país donde se produzca se hace obligatorio rociarlos más o menos. Este proceso de hacer que los elementos no pierdan el agua de hidratación y por ende afectar su resistencia, se llama curado.

## 11.- DEL CURADO:

Arrumes: Los arrumes corresponden a la producción de 1 día y deben colocarse los elementos trabados para darle resistencia al conjunto, no deben ser superiores a 8 filas y recomiendo tenerlos debidamente marcados con la fecha, para saber cuándo retirarlos a la zona de almacenamiento para su secado.

Curado de los prefabricados: Se puede hacer a través de cámaras de curado a vapor de agua o manual; con el primero solo necesitan 1 día, con el segundo son necesarios 7, en donde deben permanecer cubiertos con tela de fique o polietileno y frecuentemente bañarlos con agua. Una de las principales ventajas de la prefabricación es la rapidez con la que se ejecutan las obras. Esto se debe en gran medida a la velocidad con la que se hacen los ciclos de colado de los elementos prefabricados. Para ello se requiere que el método de curado del concreto acelere las reacciones químicas que producen un concreto resistente y durable. El método de curado más utilizado en elementos prefabricados y especialmente en los pretensados es el curado a vapor. Con la aplicación de este método es posible la producción de elementos presforzados en forma económica y rápida al permitir la utilización diaria de los moldes.

El ciclo de curado con vapor es el siguiente: Después del colado se debe esperar de 3 a 4 horas hasta que el concreto alcance su fraguado inicial, protegiéndolo con una lona para evitar la deshidratación de la superficie. Se eleva la temperatura hasta 33° ó 35° C durante una hora. En las siguientes 2 horas se elevará gradualmente hasta llegar a 70° u 80° C.

El proceso de vaporizado durará de 6 a 8 horas manteniendo la temperatura entre 70° y 80° C. Seguirá un período de enfriamiento gradual cubriendo al elemento para lograr que el enfriamiento sea más lento y uniforme. La duración total del proceso es de aproximadamente 18 horas, lo que permite, como se mencionó anteriormente, la utilización del molde todos





**Vista de elementos curados a vapor**

## 12.-DESMOLDE DE ELEMENTOS:

En el sistema de pretensado se requiere que el concreto haya alcanzado la resistencia a la compresión  $f'_{ci}$ , necesaria para resistir los esfuerzos debidos a la transferencia del presfuerzo al cortar los cables y liberar a las piezas para su extracción. Generalmente el valor de  $f'_{ci}$  se considera del 70 u 80 por ciento del  $f'_{c}$  de diseño.

Es importante que el corte individual de los cables se haga simultáneamente en ambos extremos de la mesa y alternando cables con respecto al eje centroidal del elemento para transferir el presfuerzo uniformemente y evitar esfuerzos que produzcan grietas, alabeos o pandeo lateral. El desmolde de los elementos precolados se realiza mediante el uso de grúas, marcos de carga, grúas pórtico o viajeras. Los elementos cuentan con accesorios de sujeción o izaje (orejas) diseñados para soportar el peso propio del elemento más la succión generada al momento de la extracción de la misma. Su localización está dada de acuerdo al diseño particular de la pieza que deberá especificarse en los planos de taller correspondientes.



**Desmolde de trabe cajón**

## 13-DEL ALMACENAMIENTO

### **Almacenaje y estibas:**

Un elemento deberá almacenarse soportado únicamente en dos apoyos localizados en o cerca de los puntos usados para izaje y manejo de la pieza. En caso de utilizar otros puntos de apoyo para el almacenaje de las piezas, deberá revisarse su comportamiento para dicha condición.

Si por cuestiones de diseño se requieren más de dos apoyos, se deberá asegurar que el elemento no quede sin algún soporte debido a asentamientos diferenciales en los apoyos. Esto es particularmente importante en elementos presforzados donde el efecto del presfuerzo suele ser muy relevante.



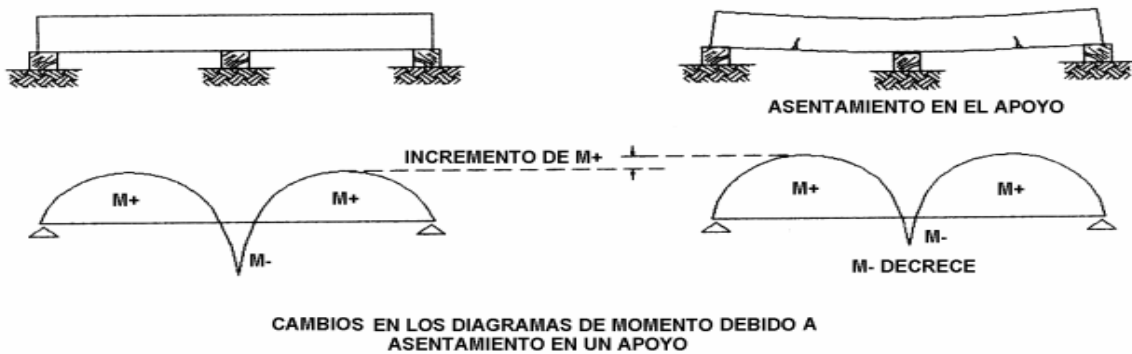
**Apoyos en almacenaje de trabes doble T**

La diferencia de temperaturas entre las superficies de un elemento, especialmente en paneles de fachada de grandes dimensiones, puede causar pandeo. Este pandeo no puede eliminarse totalmente pero puede minimizarse manteniendo el panel lo más plano posible. El elemento deberá almacenarse en el patio orientado de tal forma que el Sol no sobrecaliente un solo lado. Los elementos

Prefabricados almacenados en estibas deberán de separarse entre ellos por medio de barrotes o durmientes capaces de soportar el peso de los elementos.

Los apoyos deberán alinearse verticalmente dejando libres y de fácil acceso a los accesorios de izaje.

No se deben estibar elementos de distintos tamaños y longitudes sin antes revisar que el elemento inferior soporte la carga en el punto en el que se aplique.



#### 14.- OTRAS VARIABLES

**ADITIVOS:** Este es un ítem que debe analizarse con detalle pues afecta el valor del prefabricado. A mi manera de ver no es necesario si se dispone una buena dosificación, programación y planificación de materiales.

**Colorantes:** Importante en estos momentos donde los prefabricados han retomado su posición en el mercado de la infraestructura urbana. Los colorantes poseen diferentes precios dependiendo del color, normalmente los azules son los más costosos. Tienen mucha demanda.

**Instalaciones físicas:** La infraestructura de que se dispone al igual que su diseño, zonificación, circulaciones y demás pueden afectar la calidad de los prefabricados. Es importante disponer una amplia zona para el correcto almacenamiento de la materia prima, así como también del producto terminado. La zona de fraguado debe estar lo más cerca posible de la zona de producción. Mientras menos se manipulen los elementos mejores resultados se obtendrán.

**Condiciones ambientales:** No es lo mismo producir en la costa Atlántica que en el interior del país debido a las condiciones ambientales, la radiación solar, la humedad relativa y la temperatura ambiente afectan el proceso y por ende la frecuencia de curado.

**Densidad:** Es la relación entre el volumen bruto y la masa (peso) de una unidad. Depende, fundamentalmente, del peso de los agregados y del proceso de fabricación (compactación dada por la máquina); y en menor grado de la dosificación de la mezcla. Se debe buscar que la densidad sea siempre la máxima que se pueda con los materiales, dosificaciones y equipos disponibles, pues de ella dependen directamente todas las demás características de las unidades como son: la resistencia a la compresión, la absorción, la permeabilidad, la

durabilidad, su comportamiento al manipuleo durante la producción, transporte y manejo en obra; su capacidad de aislamiento térmico y acústico.

Las anteriores son las más importantes variables que afectan la calidad de los prefabricados en planta. Cada caso es diferente y requiere un análisis detallado del proceso. Mientras más personal se utilice mayor cantidad de variables tendrá que controlar. Es importante el conocimiento técnico, y no debe subestimar el proceso de producción en planta.



**Elaboración de traveses y columnas prefabricadas en planta**

Una vez terminado el proceso constructivo del prefabricado en la planta, se procede al transporte, montaje de los elementos que formaran la estructura principal del viaducto elevado. Es la modalidad del concreto presforzado, en la que se crea un estado de esfuerzos a compresión ante la aplicación de las cargas. De este modo, los esfuerzos de tensión y producidos por las acciones quedan contrarrestados ó reducidos. El concreto que se usa para presforzar se caracteriza por tener mayor resistencia con respecto al utilizado en las construcciones ordinarias. Los valores comunes se encuentran de  $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$  a  $f'c=500 \text{ Kg/cm}^2$ .

Se requiere de tales resistencias para poder hacer la transferencia del presfuerzo cuando haya alcanzado un  $f'ci = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .

Después del proceso de fabricación se trasladan al sitio donde se habilitaran y montaran.







**Armado de acero de refuerzo y torones en columna prefabricada**



**Columna prefabricada acabado final**



**Barras de presfuerzo columna prefabricada**



**Torón inyectado y tensado en nodo trabe columna**



**Colocación de placas y atezadores en las conexiones con las trabes**





# MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA UNIÓN PILA-ZAPATA.



PROCEDIMIENTO:  
Colocación de encamisado en barra de presfuerzo.

FECHA:

PROYECTO:  
Montaje

EJE ZAPATA:

ANEXO:

CODIGO:

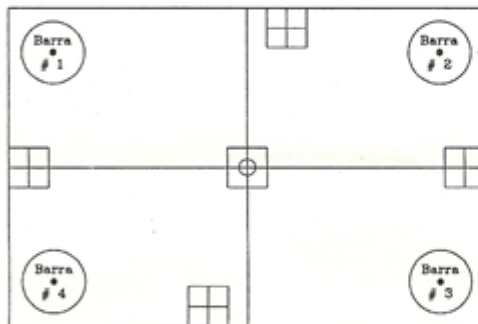
REVISIÓN:

CONCEPTO:

Suministro y colocación de encamisado de barra de presfuerzo para la unión pila-zapata con una long. aprox. de 1.7 m.

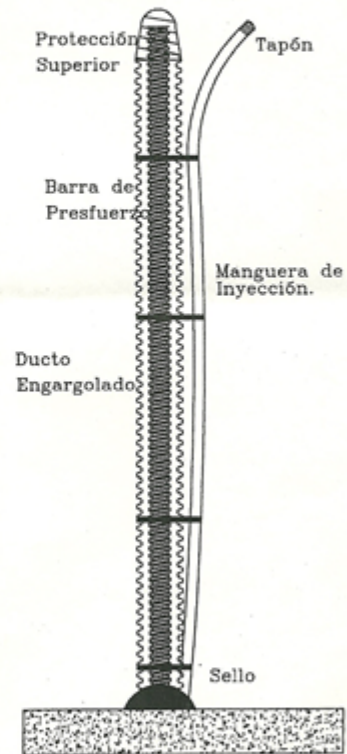
LOCALIZACIÓN.

CADENAMIENTO  
↑



Desplante de Zapata.

DETALLE:



ALCANCES: suministro y colocación de encamisado en barra de presfuerzo de 32 mm.

Barra #	Ducto Engargolado	Manguera Inyección	Sello Inferior	Fijación Ducto-mang	Protección Superior	Tapón Manguera
1	Suministrado y colocado	Suministrado y colocado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado
2	Suministrado y colocado	Suministrado y colocado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado
3	Suministrado y colocado	Suministrado y colocado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado
4	Suministrado y colocado	Suministrado y colocado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado

OBSERVACIONES:

**Encamisados en barra de presfuerzo pila zapata**



# MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA UNIÓN COLUMNA-TRABE.



FECHA:

PROCEDIMIENTO:

Sum y coloc de ducto, tensado e inyeccion en cables de 22t 10

EJE ZAPATA:

PROYECTO:

Montaje

ANEXO:

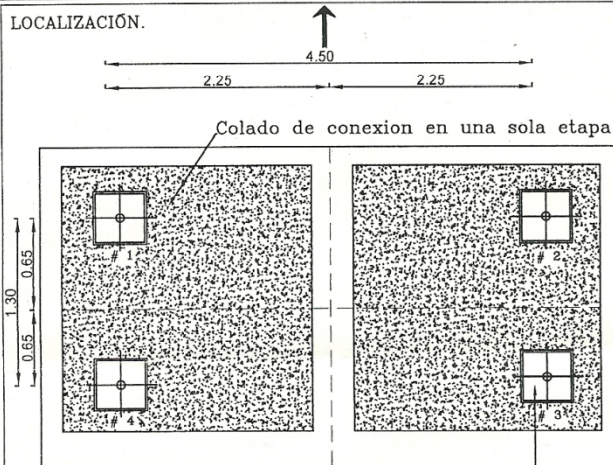
CODIGO:

REVISIÓN:

CONCEPTO:

Sum y coloc de ducto, tensado e inyección de cables de 22t de 3/8" para la union columna-trabe con una long aprox de 3.96 .

LOCALIZACIÓN.

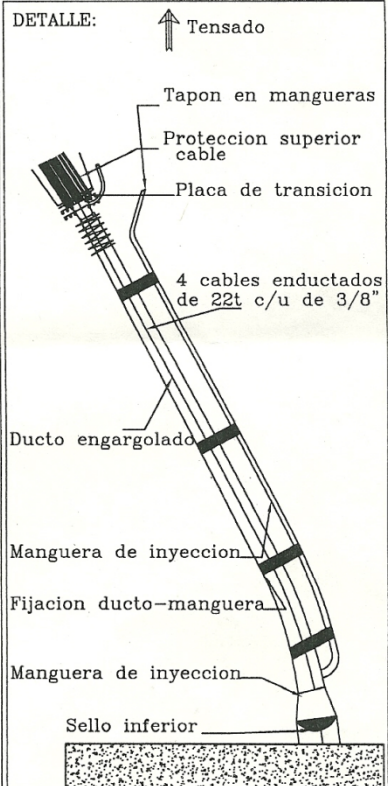


La fuerza del tensado sera del 74% de la capacidad a la ruptura del cable, el cual constara de 22 t de 1" de \*270 de baja relajacion la elongacion esperada es de 3.37 cms para la longitud de cable de 3.96

CORTE 4-4  
CABLES DE PREENFUNDIDO Y ORDEN DE TENSADO

4 cables de postensado de 22torones de 3/8" c/u con anclaje tipo standar

DETALLE:



ALCANCES: sum y coloc de placa, sum materiales de inyección, tensado e inyeccion de barra.

Barra #	Ducto engargolado	Manguera de inyeccion	Cincho	Sello inferior	Fijacion ducto-manguera
1	SUMINISTRADO Y COLOCADO	SUMINISTRADO Y COLOCADO	REALIZADO	REALIZADO	REALIZADO
2	SUMINISTRADO Y COLOCADO	SUMINISTRADO Y COLOCADO	REALIZADO	REALIZADO	REALIZADO
3	SUMINISTRADO Y COLOCADO	SUMINISTRADO Y COLOCADO	REALIZADO	REALIZADO	REALIZADO
4	SUMINISTRADO Y COLOCADO	SUMINISTRADO Y COLOCADO	REALIZADO	REALIZADO	REALIZADO

OBSERVACIONES:

Detalles de enductado de unión columna trabe



## 2.3 Procesos de Transporte

Al seleccionar el proceso constructivo, es necesaria la correcta evaluación del transporte. Esta evaluación decide si los elementos serán fabricados en planta fija, en planta móvil o a pie de obra. La incidencia del costo del transporte en el costo total de la obra es directamente proporcional a la distancia por recorrer y a la complejidad del flete.

Existen 2 tipos de fletes: los que por sus características de peso y dimensiones se ejecutan con equipos de transporte ordinario y los que exceden el peso y dimensiones permitidos en las normas y reglamentos locales para lo cual se requiere equipos de transporte especializado.



**TRACTO CON SEMIRREMOLQUE ACOPLADO**



**TRACTO CON SEMIRREMOLQUE UNIDO A LA TRABE**



**PLOTEO O TRASTEO – UNIDAD PILOTO**



**ASEGURAMIENTO DE LA CARGA**



**TRANSPORTE DE VIGA CON TRACTO Y PATÍN TRASERO**



Dependiendo de la ruta a tomar, el transportista deberá respetar las normas y reglamentos. Entre las más importantes están:

- ✓ Los transportes podrán tener horarios restringidos.
- ✓ Las combinaciones vehiculares especiales no podrán transitar en convoy.
- ✓ Las rutas deben estar previstas y señaladas en el permiso.
- ✓ Dependiendo de las dimensiones deben llevar una o dos unidades piloto las cuales deben conducir, abanderar y apoyar la logística del transporte.
- ✓ En condiciones climatológicas adversas, el transporte debe detenerse en un sitio seguro hasta que éstas sean favorables para continuar.
- ✓ Todas las unidades deberán transitar con las circulinas y los faros principales encendidos.
- ✓ Dependiendo de la combinación vehicular y del tipo de carreteras, se especifican velocidades máximas y cargas máximas por llanta y por eje.

## 2.4 Proceso de Montaje

En las obras de estructuras prefabricadas, el montaje representa entre el 10 y 30 % del costo total de la obra.

Por lo tanto, hay que considerar que los equipos de montaje por ser especializados y generalmente de gran capacidad, tienen costos elevados, por lo que resulta indispensable un buen planeamiento de todas las actividades.

Los rangos de capacidad de las grúas se basan en condiciones ideales:

- Nivel de piso firme.
- Viento en calma.
- No llevar la carga lateralmente ni balanceándose.
- Buena visibilidad.
- La maquinaria debe estar en buenas condiciones.

Los equipos de montaje para elementos prefabricados los podemos dividir en dos grupos:

- Los de pequeña capacidad: como las grúas hidráulicas para los elementos como losas cortas y viguetas, los elementos para fachadas y muros. Estas grúas hidráulicas se dividen en telescópicas y estructurales o de celosía.
- Los de mediana o gran capacidad: como las grúas torre, que si bien son muy versátiles por su gran alcance, no tienen la capacidad suficiente para lanzar elementos medianos lejos de su centro de rotación.



**GRÚA TELESCÓPICA PARA MONTAJE DE COLUMNAS Y TRABES PREFABRICADAS**

## 2.4.1 TIPOS DE IZAJE

- Perno de izaje: Perno metálico que atraviesa un prefabricado donde se requiere que la sujeción sea articulada. Se utiliza para montajes de elementos que se transportan horizontalmente y se colocan en posición vertical.
- Balancín: Elemento generalmente metálico colocado en forma horizontal del que se sujetan estrobos y que permite tomar una pieza de varios puntos de forma tal que dicha pieza reduzca su longitud a flexión y la carga axial.
- Tortugas: Accesorios para trasladar objetos pesados sobre superficies planas. Tienen sistemas de rodamiento con gran capacidad de carga y poca fricción.
- Tirford: Winche mecánico y manual para jalar la carga hasta el punto deseado.
- Grilletes: Anillo que sujeta cables de izaje o estrobos con la oreja del prefabricado.
- Gatos: Gatos hidráulicos o de arena en forma de botella para levantar o empujar, o descender elementos de gran peso.
- Puntal o pie derecho: Elemento de apoyo provisional para mantener en posición vertical un elemento pendiente de conectarse definitivamente.



ESTROBOS Y GRILLETES



TORTUGAS





**APAREJO DE IZAJE**



**ESTROBOS Y GRILLETES**

## **ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS**



**APAREJOS DE IZAJE**



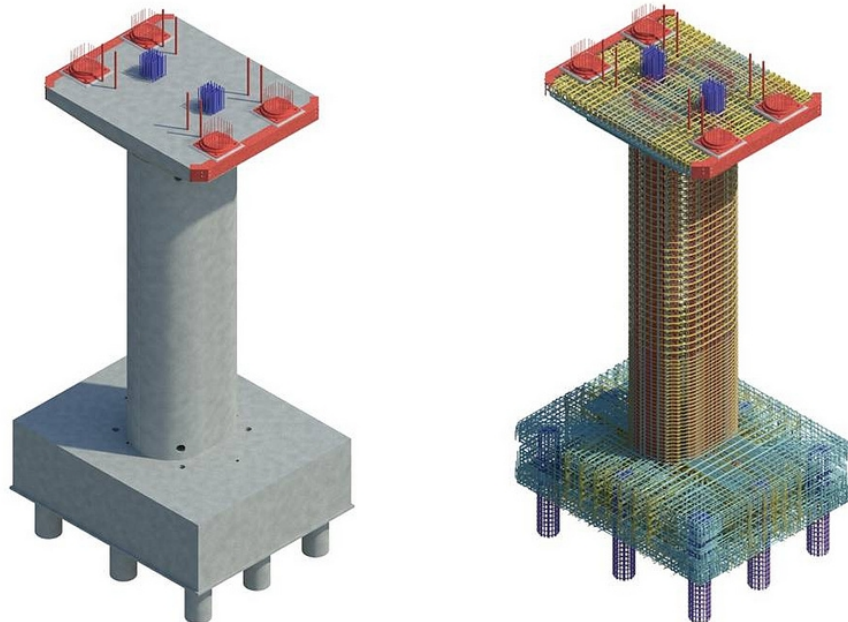
## 2.4.2 TOLERANCIAS:

Entendemos por tolerancia, el margen de imprecisión aceptado en las dimensiones de los elementos prefabricados originado por procedimientos constructivos.

Las tolerancias que permite la construcción con elementos prefabricados son menores a las tolerancias permitidas en una obra convencional ya que los elementos a ensamblarse tienen una longitud predeterminada y es costosa su modificación.

Las tolerancias en la fabricación de los elementos varían dependiendo de los aspectos que a continuación se mencionan:

- Dimensiones del prefabricado: a mayores dimensiones del elemento mayores tolerancias.
- Tipo de construcción: por razones arquitectónicas, estéticas o de instalaciones y acabados, las edificaciones requieren de mayor precisión que los puentes vehiculares.
- Tipo de prefabricado: los prefabricados de fachada requieren de tolerancias menores.
- Dependencia u orden de secuencia: la posición de los elementos de los cuales dependerá el apoyo de más elementos montados posteriormente, requiere de mucha precisión porque los errores se acumulan. Así, un error en la cimentación afectará al resto de la estructura.



**Diseño y presentación de columna prefabricada**



## MONTAJE DE ELEMENTOS VERTICALES:

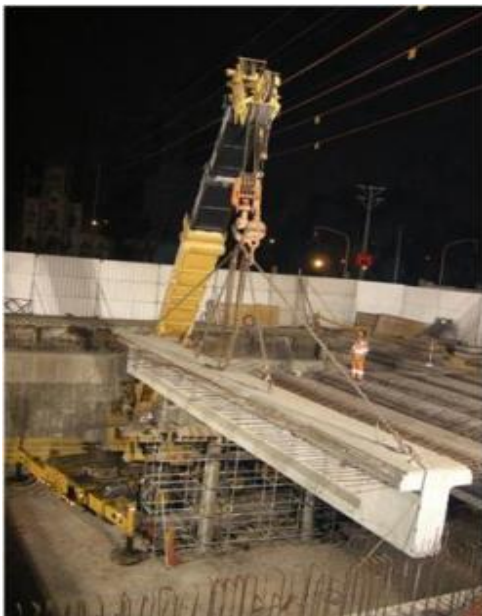
- Columnas
- Muros estructurales
- Muros de contención



## MONTAJE DE ELEMENTOS HORIZONTALES

➤ Vigas

➤ Losas



### **2.4.3 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN EL MONTAJE**

#### **a) Factores de planeamiento y organización:**

1. Falta de seguimiento y programación adecuada del transporte. Para esto se requiere de un tiempo holgado para fabricación.
2. Días feriados o festivos, en los que no se podría transportar con exceso de dimensiones.
3. Fallas de coordinación al subcontratar servicio de transporte separado del de montaje.
4. Personal de montaje insuficiente. Se recomienda considerar 2 ayudantes de montaje para vigas, 4 para muros y 3 para losas, agregando a los anteriores un encargado de montaje por frente.
5. Falta de personal capacitado para montajes.
6. Los cambios de frente o cambios del programa inicial generan falta de continuidad en los trabajos de montaje ya que en cada cambio se requiere recoger, trasladar e instalar nuevamente el equipo, generándose demoras en el tiempo de montaje y problemas en las cargas a camión y en estibas en la planta y obra.
7. Realización de dobles maniobras cuando es necesario almacenar los elementos en obra hasta que se den las condiciones apropiadas para el montaje.

#### **b) Condiciones especiales de la obra:**

1. Accesos con obstáculos o con insuficiente área libre para maniobras de montaje; por ejemplo cables de alta tensión próximos a la pluma o a un estrobo, cables de teléfono y otros elementos de la obra que estorben.
2. Obstáculos operacionales de la obra como horario o permiso especial para tráfico vehicular, o cuando el constructor requiere estar operando en otra actividad en la misma zona de la obra.
3. Cuando por transporte se requieren permisos y horarios especiales, los mismos que a veces no son previsibles, por lo que las grúas y camiones deben de esperar en el lugar de la maniobra durante varias horas o días.
4. Terraplenes cuya compactación no es adecuada para el equipo pesado. Generalmente se solicita que los terraplenes tengan una compactación del 80 al 90 por ciento del Proctor para soportar las descargas de una grúa o del tránsito de un tractocamión.
5. Condiciones no adecuadas de los apoyos, irregularidades o falta de alineamiento.
6. Dificultad para el ascenso del personal al área de posición final de los elementos.
7. Cuando el montaje no es con la grúa al centro de la luz, aumentará la dificultad proporcionalmente a la distancia a lanzar.

**c) Condiciones esenciales del proyecto:**

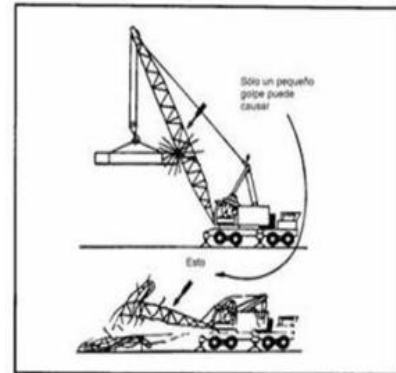
1. Cantidad, peso y dimensiones de las piezas, lo cual determina el número de piezas por viaje y, por lo tanto, la cantidad de viajes.
2. Piezas esviajadas o con desnivel.
3. Holguras escasas o nulas entre pieza y pieza.
4. Ganchos de izaje fuera del eje de gravedad de la pieza.
5. La falta de uniformidad en las piezas genera posibles errores, mayor trabajo de coordinación y a menudo maniobras dobles. La estandarización facilita los trabajos.
6. Mientras la operación requiera de mayor altura, por la altura misma del edificio o por algún obstáculo a librar, se requiere de más tiempo.
7. Los montajes a dos grúas (lanzados o coordinados) requieren de mucho mayor tiempo, además de una perfecta coordinación entre operadores de grúas.
8. La experiencia ha demostrado que por diversos motivos, las primeras piezas de una obra, se tardarán de 3 a 4 veces más del tiempo previsto.

**d) Condiciones Imponderables:**

1. Las condiciones climatológicas adversas retrasan el transporte y montaje.
2. Condiciones físicas deficientes de las vías de comunicación, lo que se acentúa en lugares remotos.
3. Fallas de proyecto, defectos de fabricación o accidentes durante el transporte.



**CABLES ELÉCTRICOS  
CERCANOS**



**ACCIDENTES**



**NEBLINA**



## 2.5 Beneficios

La utilización de prefabricados repercute de forma significativa sobre la construcción por las múltiples ventajas que ofrece: desde el inicio de la obra el constructor puede comenzar con la fabricación de elementos de concreto tan pronto como se obtiene la emisión del permiso de construcción o cuando se finaliza los trabajos de preparación del sitio; la resistencia al fuego inherente a las piezas de concreto elimina las laboriosas pruebas necesarias cuando se trata de estructuras de acero; la instalación de los prefabricados es posible independientemente de las condiciones del clima, así como la ágil instalación que permite al constructor cerrar rápidamente la obra y, en consecuencia, proceder inmediatamente a los trabajos de detalle para su entrega. En conclusión, tanto la velocidad como un riguroso control de tiempo y costos, asociados con el uso de elementos prefabricados de concreto integral, permiten mantener los proyectos sobre un buen camino y concluir con óptimos resultados.

### 2.5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO.

**Ventajas:** Mejor comportamiento ante cargas de servicio por el control del agrietamiento y la deflexión. · Uso óptimo de materiales de alta resistencia. · Elementos más eficientes y esbeltos, con menos empleo de material. · La producción en serie en plantas permite mayor control de calidad y abatimiento de costos. · Mayor rapidez de construcción al atacarse al mismo tiempo varios frentes o construirse simultáneamente distintas partes de la estructura; esto en general conlleva importantes ventajas económicas.

- Mayor control de calidad.
- Reducción de personal de obra (fierros, albañiles, carpinteros).
- Se aprovechan tiempos muertos de obra en producir los elementos. Por ejemplo durante la excavación, se producen las zapatas, columnas, vigas, etc.
- Menor tiempo de ejecución.
- Mejores materiales a emplear: Concreto de  $f'c > 350 \text{ kg/cm}^2$ , Aceros  $f_y > 16000 \text{ kg/cm}^2$ .
- Se elimina el 95% de la cimbra de contacto.
- Uso repetitivo de moldes metálicos de buena calidad (a la larga es económico).
- Al usar elementos pretensados la relación largo/peralte puede ser entre 25 y 40 veces dependiendo de los elementos (por ejemplo, vigas, losas).
- Los elementos pretensados pueden alcanzar claros más largos en comparación con elementos colados en sitio y otros sistemas.
- Es menor el tiempo de ejecución, debido a que el montaje es rápido y las conexiones son simples para ejecutar en obra.
- La calidad con respecto a elementos colados en sitio es mejor.
- Su proceso constructivo y acabado de piezas es más limpio en comparación con el acero estructural.
- No requiere del mantenimiento excesivo como el acero estructural.
- Provee un sistema de aislamiento térmico.
- Resistente al fuego y climas extremos.
- Menos cantidad de cimbrado por lo tanto menor costo de cimbrado.

- Los elementos pretensados tiene alta resistencia a flexión y cortante.
- Reduce al mínimo el suministro de concreto en obra reduciendo precios como el vaciado vibrado en sitio.

**2.5.2 Desventajas** · La falta de coordinación en el transporte de los elementos presforzados puede encarecer el montaje. · En general, la inversión inicial es mayor por la disminución en los tiempos de construcción. Se requiere también de un diseño relativamente especializado de conexiones, uniones y apoyos. · Se debe planear y ejecutar cuidadosamente el proceso constructivo, sobre todo en las etapas de montaje y vaciados in sitio. Los tendones, generalmente son de cable torcido con varios torones de varios alambres cada uno, se restiran o se tensan entre apoyos. Se mide el alargamiento de los tendones, así como la fuerza de tensión aplicada con los gatos. Con la cimbra en su lugar, se vacía el concreto en torno al tendón esforzado. A menudo se usa concreto de lata resistencia a corto tiempo, a la vez que es curado con vapor de agua, para acelerar el endurecimiento. Después de haberse logrado la resistencia requerida, se libera la presión de los gatos. Los torones tienden a acortarse, pero no lo hacen por estar ligados al concreto por adherencia. En esta forma la fuerza de presfuerzo es transferida al concreto por adherencia, en su mayor parte cerca de los extremos de la viga. Con frecuencia se usan uno, dos o tres depresores intermedios del cable para obtener el perfil deseado. Estos dispositivos de sujeción quedan embebidos en el elemento al que se le aplica el presfuerzo.

- Mayor detalle en planos de construcción y montaje.
- Mayor planeación (estudio en tiempo y movimientos de maquinaria y transporte).
- La inversión se hace en menos tiempo.
- Mano de obra especializada.
- Se requiere maquinaria pesada (tractocamión, grúas, etc.).
- Se requiere espacio para maniobras en las obras.
- La inversión en moldes metálicos es alta.
- La implementación de moldes para nuevas piezas y el innovar en algún nuevo producto es muy costoso.
- El costo del transporte de las piezas a la obra puede elevarse, debido a que será más fácil conseguir perfiles en acero en un sitio cercano a la obra.
- El transporte de piezas largas y de grandes anchos en zonas urbanas dificulta el traslado del prefabricado, el alto riesgo es latente y su costo aumenta por la implementación de dispositivos de seguridad por maniobras especiales.
- Se puede volver muy costoso el fabricar unas cuantas piezas debido a los procesos que ello implica, tanto en planta como en obra.
- El que sea prefabricado no implica que se eliminen las conexiones, ya sea a base de soldadura y colado de concreto in sitio esto incluye el colado de firmes de concreto (si es un sistema de edificio).
- El adaptar el diseño para una pieza de ajuste in obra puede ser más costoso que incluso las piezas de concreto pretensado tipo.



➤ **Analicemos tres alternativas, dos independientes y una mixta:**

**Sistema Tradicional:** Armado, encofrado y vaciado in sitio.

**Sistema Prefabricado:** Producido en planta, montados y vaciados finales en obra.

**Sistema Mixto:** Vigas y columnas son armadas, encofradas y vaciadas in sitio, las losas son prefabricadas.

**1ra. Alternativa: Sistema Tradicional.**

Este sistema es el que toma más tiempo y es por lo siguiente: en el sitio de la obra hay que hacer todos los trabajos y en orden secuencial por ejemplo:

1ra. Etapa. Limpieza del terreno, trazo, excavación, armados, encofrados y vaciados en cimentación. Puede haber actividades simultáneas, como habilitar el acero o el habilitado de la madera en encofrados, etc.

2da. Etapa. Armado, encofrado y vaciado de columnas.

3ra. Etapa. Encofrado de vigas y losa, armado de éstas y vaciado (si la superficie es grande, esta se puede dividir en partes).

4ta. Etapa. Se repite la 2a. Etapa.

5ta. Etapa. Se repite la 3a. Etapa y así sucesivamente hasta la terminación.

**2da. Alternativa: Sistema Prefabricado.**

Por lo general, debido a que la obra ocupa todo el terreno o casi todo, la construcción se hace en dos sitios:

1ra. Etapa. In sitio se procede a construir la cimentación que es: limpieza del terreno, trazo, excavación, armados, encofrado y vaciado y el tiempo es igual al de la primera alternativa.

La diferencia es que mientras se ejecuta la 1ra etapa, en la Planta de Prefabricados se están procesando todos los elementos que constituyen la estructura: columnas, vigas y losas de todos los niveles y se van transportando al lugar de la obra para que se monten y se hagan los vaciados finales, según programa.

2da. Etapa. Colocación de columnas, colocación de vigas portantes y de rigidez, colocación del sistema de losa y vaciado de la losa superior.

3ra. Etapa. Si la longitud de las columnas abarca varios niveles en la 2a. Etapa, entonces en ésta se reduce solo a vigas y losas y así sucesivamente hasta la terminación.

**3ra. Alternativa: Sistema Mixto.**

Esta alternativa es muy similar a la primera, la diferencia se centra en que las losas son prefabricadas:

1ra. Etapa. Igual a la primera alternativa.

2da. Etapa. Armado, encofrado y vaciado de columnas.

3ra. Etapa. Encofrado de vigas, armado, colocación de la losa prefabricada y vaciado de vigas y losa final.

4ta. Etapa. Se repite la 2a. Etapa.

5ta. Etapa. Se repite la 3a. Etapa y así sucesivamente hasta la ejecución total.

En resumen, las diferencias substanciales entre las 3 alternativas son:

La 1ra alternativa es el procedimiento constructivo que todos conocen, es el que más tiempo consume, se requiere de todo el encofrado para cada etapa, todo el armado es in situ, requiere mucha mano de obra y requiere mucha supervisión.

En la 2da alternativa la diferencia substancial es que mientras se ejecuta la etapa de cimentación se está procesando toda la estructura en la planta de prefabricados, los encofrados por lo general son metálicos, los curados del concreto se cumplen, el control de calidad es muy superior, la eficiencia en los procesos es alta. Se reduce el tiempo de construcción.

3ra. Alternativa: Sólo las losas son prefabricadas y pueden ser reforzadas o presforzadas. En comparación con la Alternativa No. 1 se ahorra todo el encofrado de contacto, reduciendo costos y tiempo de ejecución.

En las siguientes Tablas se indican los tiempos de ejecución de obra estimados para las 3 alternativas.

Mientras que el sistema prefabricado lleva 11 semanas, los sistemas mixto y tradicional toman 13 y 14 semanas, respectivamente.

### **Tiempos de ejecución de la 1ra alternativa (Sistema Tradicional)**

Etapa	Semanas	Actividades
1	2	Cimentación, trazo, excavación, armado, colado y firme 1er nivel
2	2	Armados, cimbrados y colados de columnas
3	1	Fondos y armado de trabes, cimbrado de losa (360 m <sup>2</sup> ) armado de esta y colado
4	2	Se repite etapa 2 en segundo nivel
5		Se repite etapa 3 en segundo nivel
Total	14	

### **Tiempos de ejecución de la 2da alternativa (Sistema prefabricado)**

Etapa	Semanas	Actividades
1	2	Limpieza, trazo y excavación
	2	Armado, colado y formes
2		Montaje de columnas en los tres niveles
3	3	Montaje de trabes, armado y colocación de vigueta y bovedilla, malla, colado y tensado de concreto presforzado.
4	2	Se repite etapa 2 en segundo nivel
5	2	Se repite etapa 3 en segundo nivel
Total	11	

### Tiempos de ejecución de la 3ra alternativa (Sistema Mixto)

Etapa	Semanas	Actividades
1	2	Limpieza, trazo y excavación
	2	Armado, colado y formes
2	1	Montaje de columnas en los tres niveles
3	2	Fondos de trabes, armado y colocación de vigueta y bovedilla, malla y colado de la primera mitad
4	3	Se repite etapa 2 en segundo nivel
5	3	Se repite etapa 3 en segundo nivel
Total	13	

Al analizar estas tres alternativas podemos observar que en sus resultados obtenidos en tiempo y costo que representa un sistema prefabricado en comparación con el sistema constructivo tradicional y mixto, su eficiencia y procesos de calidad en la construcción del elemento representa un gran ahorro, debido a su proceso de fabricación que es menor el consumo de materiales, equipo y mano de obra, en comparación con el sistema constructivo tradicional, por lo cual se considera una buena alternativa para grandes obras.



Viaducto elevado de cinco kilómetros de extensión, que albergará cuatro estaciones de la línea dorada.

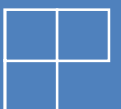
2012



# Capitulo 3

## III. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS

- 3.1 Procesos de control de calidad en los materiales utilizados en la fabricación de elementos estructurales prefabricados
- 3.2 Procesos de control de calidad de elementos estructurales prefabricados utilizados en su fabricación
- 3.3 Procesos de control de calidad de elementos estructurales prefabricados utilizados en su transportación
- 3.4 Procesos de control de calidad de elementos estructurales prefabricados utilizados en su Montaje



### **3.1 Procesos de control de calidad en los materiales utilizados en la fabricación de elementos estructurales prefabricados**

Como se ha mencionado los materiales de construcción se seleccionan primordialmente con base en sus propiedades, claro sin olvidar ciertas cualidades estéticas. Estas propiedades se evalúan mediante ensayos. Los ensayos que se emplean en la industria de la construcción pueden ser de campo o de laboratorio, pudiendo ser destructivos y no destructivos. En todo caso los ensayos se deben apegar a normas estándar para garantizar la reproducibilidad de resultados. En el caso de no existir normas para la realización de los ensayos, tanto el dueño de la obra como el constructor o contratista se deben poner de acuerdo en el procedimiento a seguir, se recomienda que este procedimiento esté de acuerdo al avance experimental que se haya tenido en el área respectiva. No se puede concebir un programa de control de calidad en la construcción sin la ejecución de ensayos o pruebas. En México los ensayos de los materiales de construcción se realizan de acuerdo a la **Norma oficial mexicana (NMX-C-248-1978 Para Elementos de Concreto Presforzado)**.

Las normas mexicanas NMX, por ejemplo la NMX-C-61 permite determinar la resistencia a compresión del cemento Portland, esta norma es similar a la norma norteamericana ASTM C-109. De hecho muchas normas mexicanas se basan en adecuaciones de diversas normas norteamericanas ASTM. La adopción de normas no garantiza la consecución de calidad en las obras, a menos que exista una adecuada supervisión o inspección de los trabajos de construcción. Además, es imprescindible que tanto el personal técnico que realiza las pruebas como el mismo laboratorio de pruebas estén debidamente acreditados. Esto significa, que para que una prueba esté bien realizada, debe ser ejecutada por el personal calificado de un laboratorio de pruebas certificado,

ante el organismo oficial competente. En México, la Ley Federal sobre Metrología, y Norma oficial mexicana NMX-C-248-1978 Para Elementos de Concreto Presforzado. Normalización, publicada en 1992 instituye el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Prueba (SINALP), este organismo que depende de la Dirección General de Normas tiene por objetivo agrupar a los laboratorios acreditados.

El acreditamiento de los laboratorios se tramita a través de los diferentes entidades y comités que constituyen el SINALP. Por ejemplo los laboratorios que deseen prestar servicios a la industria de la construcción deben llenar los requisitos establecidos por la entidad mexicana de acreditación (EMA), Los procesos de acreditación toman tiempo requieren de mucho esfuerzo para mantener y renovar las acreditaciones en las que estas tienen un período de validez. Existen muchos laboratorios acreditados que operan en la República Mexicana en las secciones de concreto, agregados y cemento y continuamente se suman laboratorios que permitirán una mejor cobertura de otros materiales de la industria de la construcción.

Como se puede observar, la existencia del SINALP favorece un ambiente de competitividad entre los constructores, puesto que al emplearse laboratorios acreditados se tiene una mayor confianza en los resultados de las pruebas de laboratorio y esto permite un mejor control de la calidad de las obras.

La construcción es una actividad bastante compleja en donde intervienen muchos factores que inciden en la calidad final de las obras, obviamente los materiales son elemento primordiales, sin embargo, no basta con saber que los materiales cumplen con las normas o

especificaciones preestablecidas, sino que es necesario hacer un buen uso de ellos, integrándolos a la obra de acuerdo a los procedimientos constructivos adecuados. Por ejemplo, se puede contar con un cemento que cumple las normas, con una arena que cumple las normas, con un agua que también cumple las normas y sin embargo se puede hacer un mal concreto y un mal colado de un elemento estructural al no seguir la recomendaciones necesarias para que el elemento tenga un proceso de colado de manera adecuada, cumpla con la normatividad aplicada a este tipo de elementos satisfactoriamente... De aquí que es necesario contar con una buena supervisión o inspección de los trabajos de construcción. En México existe un Programa de Certificación del ACI para Inspectores de Concreto creado por un Comité de Certificación ACI, por medio de este programa se imparte la capacitación adecuada para que el aspirante reciba después de cumplir con los requisitos, un certificado como Inspector de Concreto en diferentes campos o áreas. Desafortunadamente existen muchas áreas de la construcción que aún no cuentan con programas semejantes, y en esos casos la calidad de la supervisión descansa en los programas particulares de las empresas ligadas a la industria de la construcción. Con la apertura del Tratado Trilateral de Libre Comercio entre Canadá, Estados Unidos y México, la industria de la construcción está experimentando grandes cambios. Particularmente el ingeniero civil se encuentra inmerso en una actividad que está siendo invadida por nuevos sistemas constructivos y nuevos materiales, además de nuevas filosofías y prácticas cuyo objetivo es la calidad total de las obras. La competencia se espera tan dura que solo sobrevivirán aquellas empresas constructoras que tengan los recursos y deseos de reorganizarse o aliarse con empresas extranjeras. De ahora en adelante, las grandes obras y aquellas que requieran de una ejecución impecable solo serán otorgadas a empresas constructoras que garanticen la calidad de las mismas, esto solo se puede lograr si las propias empresas adoptan estándares de calidad en todas las áreas que les competen, ya sean administrativas o técnicas. Con el propósito de establecer los criterios para el desarrollo y la implementación de un sistema de calidad en la industria de la construcción, México ha decidido adoptar los estándares de la International Organization for Standardization (ISO), particularmente aquellos que se refieren a la construcción designados como serie ISO 9000. Las normas ISO 9000 proporcionan las bases y guías adecuadas para que las empresas establezcan sistemas de calidad en sus organizaciones. Esto permitirá que las empresas constructoras logren una mayor consistencia en la calidad de las obras terminadas, ganándose la confianza del cliente.



**Edificio ejecutado con prefabricados de concreto presforzado.**



## 3.2 Procesos de control de calidad de elementos estructurales prefabricados utilizados en su fabricación

### Normas y control de calidad.

La normatividad y control de calidad es muy estricto en los prefabricados de concreto, todos los concretos y materiales involucrados en la fabricación de piezas deben ser revisados. Por alguna entidad o asociación, entre ellas esta EMA (Entidad Mexicana de Acreditación) que acredita la calidad de materiales y análisis de laboratorio utilizado el apoyo de las Normas Oficiales Mexicanas, la ASTM (American Society for Testing and Materials) que es una institución de regular los estándares de calidad de los materiales y los procesos en que son involucrados.

Entre las normas más representativas encontramos la siguiente:

**La norma NXM-C-248-1978<sup>22</sup>**, establece que: los elementos de concreto que sean presforzados deben someterse a pruebas de colado, adecuadas para asegurar la resistencia y eliminación de posibles defectos. En caso de elementos aparentes deben tomarse las medidas necesarias para obtener superficies con el acabado requerido de proyecto, en cuanto a sus dimensiones los elementos de concreto presforzado deben cumplir con las dimensiones especificadas por el fabricante, con ciertas tolerancias; las tolerancias en las longitudes hasta 10m deben ser de  $\pm 20\text{mm}$ , en longitudes mayores deben ser de  $\pm 20\text{mm} + 1\text{mm}$  por cada metro que exceda 10m.

Ancho y peralte de las piezas: las tolerancias de piezas deben ser como las señaladas en la tabla A. el peralte en las piezas con peralte menor o igual a 50cm la tolerancia debe de ser  $\pm 10\text{mm}$ . En las piezas con peralte mayor de 50cm. La tolerancia debe de ser  $\pm 20\text{mm}$ .

TABLA A. TOLERANCIAS EN LA MEDIDA DEL ANCHO DE LAS PIEZAS PREFABRICADAS EN PLANTAS INDUSTRIALES.

PIEZAS AISLADAS O SEPARADAS				PIEZAS TRANSVERSALMENTE UNIDAS ENTRE SI(*)			
Para: b≤20 cm. ±0.5cm.	Para 20<b≤70 cm. ±0.8cm	Para 70<b ≤200cm ± 1.1	Para 200<b≤300cm ±1.3.cm.	Para: b≤20cm. ± 1.3cm.	Para: 20<b≤70 cm. ± 0.5cm.	Para: 70<b≤200cm ±0.8cm	Para: 200<b≤300cm . ±1.0cm

Estas tolerancias se aplican a las piezas individualmente.

Las flechas y contra flechas en los elemento de concreto presforzado, están regidas por las condiciones de proyecto, previo acuerdo entre el fabricante y comprador. Las tolerancias en las flechas y contraflechas diferenciales, entre 2 piezas adyacentes, deberá ser menor de  $\pm 1.5\text{mm}$ . Por metro de longitud, con un máximo de 25 mm.

La distribución del acero de presfuerzo en el proyecto, la posición del acero de presfuerzo debe ser tal que se asegure la correcta colocación. Las distancias mínimas entre alambre de torones, o vez y media el tamaño máximo nominal del agregado; esta separación debe respetarse cuando menos en dos tercios extremos de la separación del elemento pretensado, pudiéndose agrupar en el tercio central.

En cuanto a los materiales la norma anexa lo siguiente:

El concreto: el concreto para fabricación de elementos presforzados pueden ser concreto premezclado o concreto elaborado por el fabricante. El concreto ligero si se utilizan agregados ligeros para el concreto presforzado debe estudiarse previamente la contracción de fraguado, el modulo de elasticidad, la deformación por flujo plástico, la resistencia y la adherencia al acero de presfuerzo.

El cemento que es empleado en el concreto presforzado debe ser de Cemento Portland, Cemento Portland Puzolana, o Cemento Portland con escoria de alto horno; y deberá cumplir las normas NMX-C-001, C-002 y C-175 respectivamente.

Los aditivos no deben usar cloruro de calcio como aditivo, ni aditivos, que lo contengan, ni otros que sean nocivos al acero y al concreto.

El acero de refuerzo y presfuerzo, que se utilizan en los elementos de concreto presforzado, deben cumplir las Normas Mexicanas NMX-B-006, B-018, B-032, B-292, B-293 y B-294 respectivamente. Sus métodos de prueba:

Los sistemas medidores para los sistemas de tensado deben de estar equipados con medidores calibrados, para la correcta determinación de las cargas del tensado. Tanto los manómetros hidráulicos, como los dinamómetros, las celdas de carga y otros dispositivos para la medición de la carga de tensado, deben tener una precisión de  $\pm 2\%$ , estos sistemas medidores pueden estar integrados por el siguiente equipo:

- Celdas de carga.
- Dinamómetro de Tensión.
- Manómetro con accesorios.
- Gatos para carga de Tensado con control de válvulas.

Algunas consideraciones que se pueden hacer para el manejo de materiales en la planta de fabricación serian las siguientes.

- Los agregados se deben manejar y almacenar de forma tal que aseguren la uniformidad de su granulometría y humedad, evitando el almacenamiento del material en forma cónica para que no se produzca la segregación.
- Para evitar que se mezclen los diferentes agregados (grueso y fino) se recomienda separarlos por paredes, o bien; depositarlos en sitios a una distancia razonable.
- El agregado fino debe de manejarse húmedo, evitando que la acciones del viento propicien la separación de las partículas.

- El empleo de cemento a granel debe de almacenarse en depósitos o silos, sellados contra el agua, humedad y contaminantes externos, dándole mantenimiento a estos depósitos por lo menos una vez al mes y evitar que el cemento se compacte; separando el tipo de cemento en función de la marca o color.
- Cuando se utilice cemento en bolsa (saco) deberá almacenarse estibándolo sobre paletas de madera, evitando el contacto con la humedad y permitiendo, la circulación del aire. Si el cemento es almacenado por mucho tiempo deberá ser protegido por cubiertas impermeables de tal forma que las bolsas con mayor tiempo sean las primeras en ser utilizadas.
- Cada fabricante propone el manejo y almacenamiento de los aditivos, lo que implica una mayor durabilidad y un mayor funcionamiento al momento de ser requeridos.
- En el acero de refuerzo debe de procurarse su fatal oxidación pues esta afecta de manera significativa en la adherencia con el concreto, produciendo errores en todo momento de la aplicación. Esto casi no sucede con el acero de refuerzo por lo que, cualquier lugar en donde se almacena estará bien siempre que no se obstaculice el trabajo de la producción.
- El acero de presfuerzo debe almacenarse en lugares donde existan cubiertas impermeables para evitar la humedad que da lugar a la corrosión.

La normativa describe estos procedimientos y pueden ser consultados directamente en ella.

En la fabricación de los prefabricados de concreto en la actualidad existen nuevas técnicas para su elaboración de los elementos.

Hoy en día los procesos de vaciado vibrado y aplicación de vapor para el curado, representan un costo substancial en la elaboración de las piezas; otra variante que provoca el mejorar el proceso constructivo es la variación en las dimensiones de cada pieza y el tiempo que impacta el producir piezas en una planta debido a que el concreto debe adquirir cierta resistencia y para hacerlo hay que vibrar, enlonar, aplicar vapor y en ocasiones usar aditivos especiales, antes de transmitir el tensado a las piezas, para retirar una pieza del molde. Para contra restar todos estos procedimientos en la construcción de piezas prefabricadas, encontramos “El concreto Autocompactable”.

El concreto autocompactable o autoconsolidable es funcional y da mejores resultados que los concretos convencionales, debido a la calidad de sus materiales, agregados y aditivos. El proceso que regula este tipo de concreto esta normado por ASTM en su norma ASTM C 143. Su proceso y calidad garantizan que se coloque sin requerir el vibrado, además que las piezas de prefabricado tendrán un mejor acabado y su funcionalidad es mayor con el acero de refuerzo y presfuerzo. Esto permite minimizar los costos en mano de obra y trabaja mejor en obra si requiere ser bombeado.

El concreto con características autocompactable es mejor adaptado para trabajar con agregados mas pequeños, estos y otros factores determinan a que la practica y uso el concreto autocompactable de mejor calidad al de los demás concretos.

Las pruebas de calidad se manejan con la prueba de expansión o de flujo del revenimiento, la cual consiste en llenar hasta el tope el cono de revenimiento tradicional sin compactación, una vez lleno se levanta el cono truncado y se deja fluir el concreto y se mide la longitud que se extiende o expande el concreto y esta varía entre 55cm y 75cm varía debido a las especificaciones. Además debe realizarse una prueba visual para determinar si hay algún tipo de sangrado de agua. Que son las pruebas más representativas para determinar la calidad del concreto en obra o planta de prefabricados.

El concreto autocompactable utilizado en los procesos prefabricados regularmente es SMO (sin mano de obra), que nos ayuda a disminuir costos de mano de obra, también elimina el curado a vapor de las piezas prefabricadas. Normalmente adquieren su resistencia requerida para transferir presfuerzo entre 12 y 24 horas siendo de los concretos de alta calidad y resistencia.

Por ninguna razón se permite el uso de concreto ligero en elementos primarios, tales como: columnas, vigas o trabes, sistemas de piso o zapatas, etc. Y si lo determinasen así se requiere plenamente de la autorización del Departamento del Distrito Federal

Norma oficial mexicana NMX-C-248-1978 DE LA SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL PARA ELEMENTOS DE CONCRETO PRESFORZADO. (Dirección General de Normas)



**Colocación de durmientes con rielera**

### 1.3 Procesos de control de calidad de elementos estructurales prefabricados utilizados en su transportación

La calidad en el tipo de transporte ha de designar en el traslado de piezas, dependerá en esencia de, la geometría de la sección longitudinal y transversal, y peso de cada pieza además de la capacidad máxima de carga del tipo de transporte. Para determinar los límites de carga para transporte de piezas daremos una revisión a la normatividad dirigida al transporte de piezas prefabricadas y cargas permitidas parte de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes NOM-040-SCT-2-1995). Un punto importante a considerar en el transporte, es el enlace entre los tiempos de fabricación y montaje porque estos dos arrojarán la programación de transporte de piezas de planta a obra.

Para el caso del traslado de piezas prefabricadas podemos mencionar los tipos de transporte más representativos, en la industria del prefabricado:

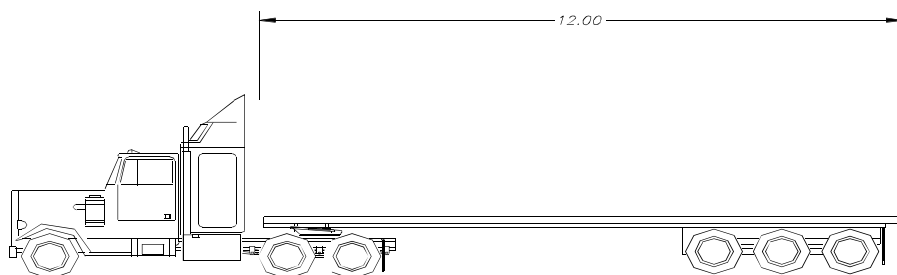
- Transporte tipo carga regular o Tracto camión
- Transporte con plataformas de tipo extensible o semirremolques.



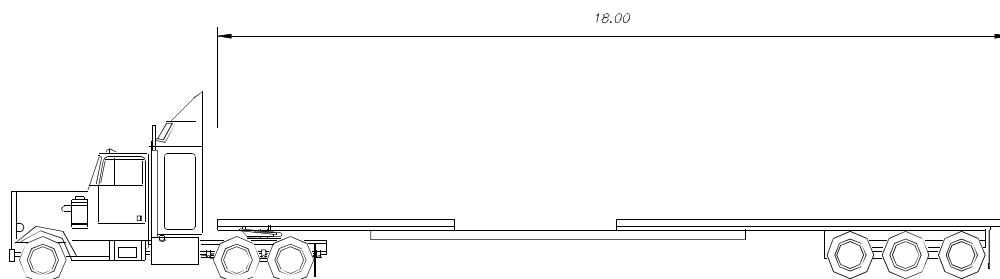
Plataforma extensible o semirremolques



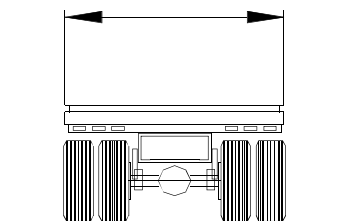
Transporte con Dollys (Simplemente con Dolly o Low Boy con Dolly).que son un tipo de carga especializada para elementos de gran longitud y/o gran peso excedentes y por ello en ocasiones estos dollys tienen un sistema direccional.



**TRACTO CAMION DE PLATAFORMA REGULAR**

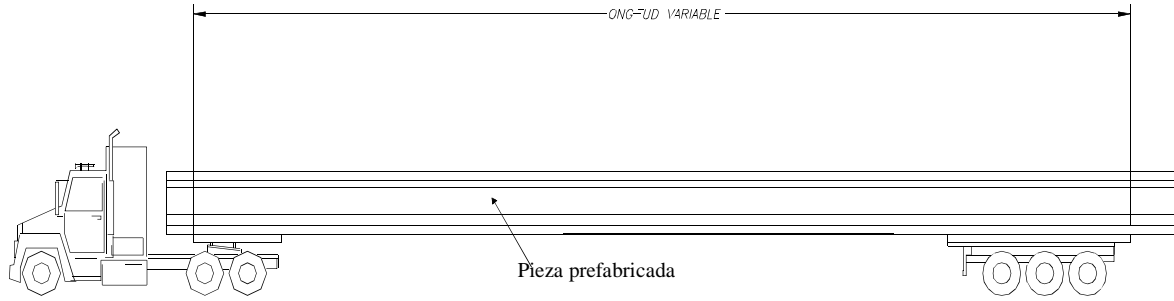


**TRACTO CAMION CON PLATAFORMA EXTENDIBLE**

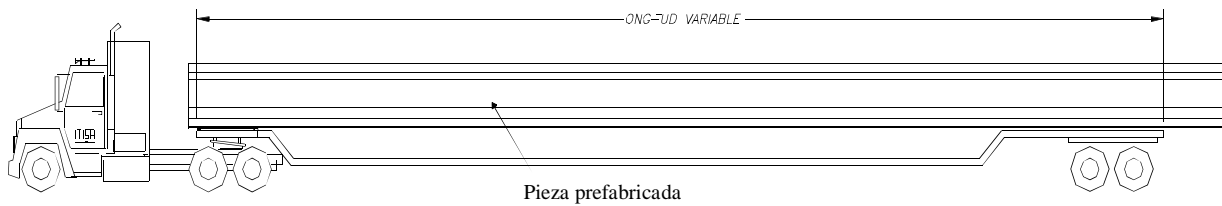


*ANCHO PROMEDIO L=2.40m*

**Dimensión promedio en ancho de plataformas regulares y extensibles.**



### TRACTO CON DOLLY



### LOWBOY

Para poder facilitar el traslado de piezas de concreto prefabricado, se debe de anticipar el uso de unidades pilotos. El apoyar al tránsito de tracto camiones de carga regular o especializada, es primordial para el traslado de piezas, la SCT aplica su normatividad para transporte, para su libre circulación en carreteras, caminos o vialidades que sean de orden general, debido a que se debe resguardar la seguridad de los transeúntes y del mismo personal que se traslada en estas condiciones, para prevenir accidentes.

### Ejemplo de Transporte de piezas prefabricadas



La norma NOM-012-SCT-2-1995 contempla lo siguiente: la dimensión máxima de una combinación vehicular para transportar en condiciones ordinarias de 20.8m. Por lo que al restarle las dimensiones del tracto camión, resulta una pieza de 15.80m. El peso útil máximo permitido es 26.4 toneladas, de tal forma que toda pieza que exceda estas cantidades tendrá que ser transportada por una compañía que cuente con el servicio especializado de carga. Para ello, la norma dicta restricciones. Entre las más importantes están:

1. Los transportes se sujetarán a los siguientes horarios: de lunes a viernes, con luz diurna y en la noche de 0:00 a 06:00 horas, y los sábados de 06:00 a 14:00; durante vacaciones normalmente se restringen los permisos.
2. Las combinaciones vehiculares especiales no podrán transitar en convoy.
3. Las rutas deben estar previstas y señaladas en el permiso y sólo podrán modificarse en caso de emergencia.
4. Dependiendo de las dimensiones deben llevar una o dos unidades piloto las cuales deben conducir, abanderar y apoyar la logística de la transportación. Éstas deben cumplir con una serie de especificaciones técnicas y de operación referentes a color, iluminación, señalización, avisos y características físicas, entre otras.
5. En condiciones climatológicas adversas, la combinación debe detenerse en un sitio seguro hasta que éstas sean favorables para continuar.
6. Todas las unidades deberán transitar con las torretas y los faros principales encendidos.
7. Dependiendo de la combinación vehicular y del tipo de carreteras, se especifican velocidades máximas y cargas máximas por llanta y por eje; dependiendo de las cargas, se especifican otros aspectos como la distancia entre ejes internos y la altura del centro de gravedad de la carga.



**Tracto tipo regular**



**Transporte tipo plataforma**

### **3.4 Procesos de control de calidad de elementos estructurales prefabricados utilizados en su Montaje**

Uno de los trabajos indispensables en obra al manejar elementos o piezas prefabricadas, es la colocación o montaje de estas. En la práctica los sistemas de montaje son sencillos si el sitio tiene el espacio suficiente para realiza movimientos para equipo de montaje.

La maquinaria y el equipo de montaje a utilizar siempre serán en función de la obra y condiciones del sitio. Esto es un indicador importante de inversión y costo en obra y el tiempo que sus maniobras duren en sitio, deben ser analizados con detenimiento.

Tipos de grúas y sistemas de montaje.

Las grúas telescópicas: son grúas montadas normalmente sobre camión, su versatilidad se refleja en su alcance para montar piezas a diferentes alturas debido a su sistema retráctil, su longitud de alcance fácilmente se adapta a las condiciones de altura. Son maquinas que facilitan la colocación de prefabricados de concreto o cualquier otro sistema lanzar piezas sobre grandes para montaje y son ideales para claros en puentes.



**Montaje de Trabes Tipo Ballena con grúas telescópicas**

Las grúas estructurales son utilizadas en sitios de difícil acceso y donde la maniobrabilidad en la zona es difícil. Su capacidad de carga en tonelaje es variable y regularmente se utilizan para colocación de piezas a poca altura y de gran peso, como columnas o incluso para ubicar pilotes en sitio de hincado. Su sistema de montaje en ocasiones incomodo debido a que hay que armar las estructuras y celosías si se quieren alcanzar tramos excedentes, pero eso no limita su funcionalidad.



**Montaje con Grúas Estructurales.**

De estos dos tipos de grúas móviles podemos encontrar dos tipos, sobre orugas o sobre neumáticos, los sistemas de grúas con neumáticos son normalmente utilizados para zonas urbanas y donde el traslado de las grúas puede realizarse transitando sin necesidad de recurrir a un traslado con un tractocamión, claro bajo criterio del personal designado a montaje, debido a que para hacer eficiente el trabajo del equipo puede necesitar un acondicionamiento o mejoramiento de plataformas en la zona de obra de montaje. Por otro lado las grúas sobre orugas tienen mejor rendimiento en sitios donde prevalecen las terracerías, pero una de las desventajas de utilizar grúas de este tipo es que requieren de transporte, todo esto a razón de que el tránsito de estas se ve limitado y se restringe a solo movimientos en obra, además de que pueden causar daños a las superficies de tránsito vehicular por el peso de su sistema de orugas.

En el caso de una obra de infraestructura vial, los pasos vehiculares, de ferrocarril, puentes o pasos ganaderos, en donde especifican colocación de piezas, sean trabes AASHTO, Cajón, Trabes denominadas ballenas que se usan en los distribuidores viales debido a sus dimensiones en ancho y largo; todos estos sistemas son dirigidos a ser montados en obra utilizando grúas telescópicas o estructurales de celosía.

Los sistemas de grúa torre en construcciones también son utilizados en el montaje de prefabricados y son aplicables a sistemas de edificios comerciales, hoteles y cualquier otra construcción que requiera movimiento de piezas a gran altura o cuando las condiciones de acceso en zona urbana restrinjan la accesos o movimientos a grúas estructurales o telescópicas, su sistema permite su adaptación a diferentes niveles a los cuales será muy difícil llegar con grúas móviles convencionales.

Un malacate será una solución alterna para elementos que se montan a una altura determinada y para piezas de no gran peso. Regularmente se pueden utilizar estos sistemas para el montaje de muro y losa pretensada, un malacate funcional para montaje es el Tiford que es un tipo de malacate mecánico-manual para jalar la carga desde un punto deseado.

Independiente mente de cual sea el sistema de grúas que se utilice para trabajos de montaje, en ocasiones se requiere de condiciones especiales en sitio para poder trabajar con mayor rapidez y seguridad. Los rangos de seguridad se basan en condiciones ideales:

- 1) Nivel de piso firme.
- 2) Viento en calma.
- 3) No llevar la carga lateralmente ni balanceándose.
- 4) Buena visibilidad.
- 5) La maquinaria debe estar en buenas condiciones, que no tenga miembros estructurales ni dañados ni fatigados y debe estar equipada como “recién salida de la fábrica”.

Algunos de los accesorios que son de utilidad en maniobras de montaje son: los izajes, que normalmente son un armado de acero de refuerzo, cable de torones o alambres tipo cascabel entre los mas utilizados. El balancín es un elemento que permite tomar varios izajes y reducir el riesgo en montaje, es metálico y se coloca horizontalmente donde se



sujetan los estrobos facilitando el tomar la pieza de varios puntos evitando la flexión en la piezas. Los grilletes son los anillos que sujetan los cables de izaje a las orejas o insertos de prefabricados. Los estrobos son cables de acero que sujetan al elemento ya sea instalado previamente (accesorio de izaje), o haciendo la sujeción directa con las piezas.

En los puentes o pasos a desnivel o vehiculares en ocasiones es necesario hacer maniobras para librar grandes claros, es cuando se recurre a elementos especiales para movimiento de traveses, dado es el caso de la armadura de montaje que ayuda a deslizar las traveses de tipo pasos vehiculares o puentes para libran el claro de extremo a extremo utilizando un sistema de tortugas. En el caso de columnas es una referencia importante en campo su función primordial es la de ajustar el nivel de desplante de esta y permite corregir diferencias en el trazado en campo, adjunto a estos el sistema de estrobos y grilletes ayuda a las sujeción de piezas con mayor seguridad.

Para poder desarrollar cualquier movimiento de montaje en la zona, es imprescindible revisar todos los accesos posibles a obra. Lo que nos dará una idea del sistema que nos conviene utilizar. En ocasiones será conveniente realizar visitas al lugar del proyecto a analizar. Esto es primordial debido ha que el reporte que arroje esta visita dictara el procedimiento de montaje y ubicara zonas de posibles riesgos analizando la libranza de los obstáculos (cables de alta tensión, teléfono, luz, agua, etc.) y dictaminar el periodo de ejecución de los trabajos de montajes y jornada de trabajo (si son diurnas o nocturnas, mixto o trabajos para dos turnos, según sea el compromiso para entrega de trabajos).

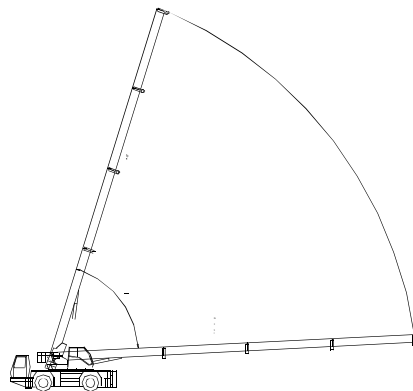
Es bueno destacar que una grúa jamás debe ser utilizada a los límites de su capacidad, debido a que eso pondrá en inminente riesgo al personal en obra y provocara accidentes.

Para una programación adecuada de montaje será obligada la emisión de planos de montaje que dan referencias de ubicación de piezas y niveles de ubicación.

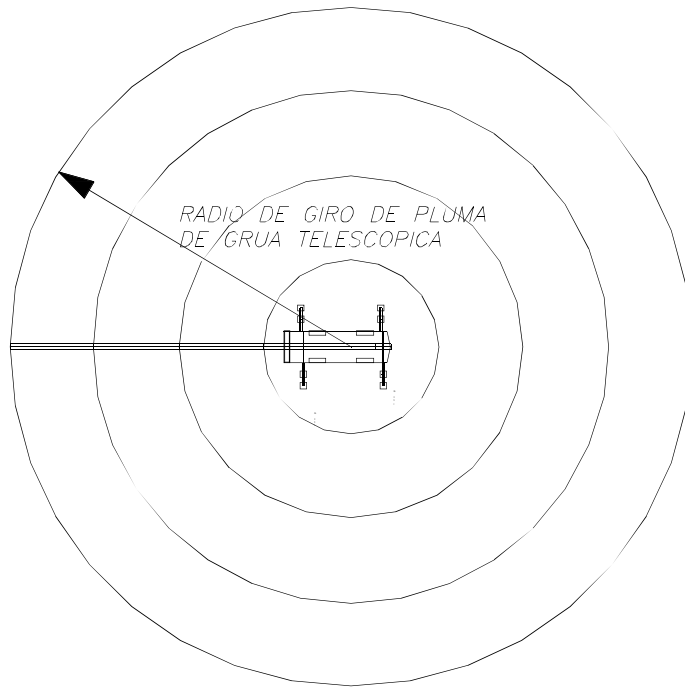
La seguridad en el montaje será un parte del presupuesto, el tener personal para ubicación de señalización y bandereros de apoyo vial, acordonamiento de zona o cierre parcial o total de calles, carreteras, autopistas, etc. Nos representan costos de mano de obra, materiales y en ocasiones equipo especializado, por cualquier contingencia en obra.

El ciclo de montaje va en función de la cantidad de piezas, tipo de elemento, dimensiones, ubicación y tiempo, sea muro, losa, traveses TT, trabe T, o para puentes. La viabilidad de los sistemas de montaje de prefabricados siempre son un índice en costo que no puede ser idéntico obra con obra aunque se utilice un sistema prefabricado similar.

### **Ejemplo de grúa telescópica para alcance de longitud y altura.**



Obsérvese que la grúa desarrolla su mayor capacidad de trabajo de montaje por la parte trasera y en un ángulo que va desde el 60 al 70°. Cada sistema de grúas maneja rangos para trabajos. En el caso de las grúas telescópicas mostraremos un ejemplo de los de estos rangos, tomando como relación su radio de giro y extensión de pluma.



Ejemplo de radio de giro de la grúa, obsérvese como el radio de giro aumenta conforme se despliega su sistema telescópico.

<b>Tabla de Capacidad de una Grúa Telescópica de 50Toneladas<sup>41</sup></b>				
<b>A un 85 % de su resistencia (Ton)</b>				
<b>Radio de giro(m)</b>	<b>Long de pluma</b>			
	<b>10m</b>	<b>19m</b>	<b>24m</b>	<b>32m</b>
3	50	32		
4	38	28	19	11
5	32	25	18	11
10		12	11	9
15		7	6.5	6
20			3.5	2.9

Entre mayor sea la extensión de la pluma y el radio de giro la capacidad de la grúa para el montaje se ira reduciendo.



Grúa telescópica utilizada en el montaje del viaducto elevado

## **CONCLUSIONES:**

En su forma el viaducto elevado es un proyecto de magnitud importante por su claro muy largo permite en las inmediaciones no afecte el tránsito en sus alrededores, siendo así un proyecto eficiente y de impacto para el lugar donde se construye, definido por medio de las combinaciones de espacio, actividad y circulación. Es el resultado de un proceso tomando en cuenta dimensiones y tamaño. Si se considera que la capacidad para transportación de pasajeros por esta gran obra será en volumen muy considerable por lo cual este proyecto tiene un significado importante debido a que representa un gran avance en infraestructura y eficiencia en transporte para todos los usuarios de Tláhuac y sus alrededores. En la construcción de la estructura se tubo especial énfasis y un estricto control de calidad en sus procesos constructivos, montaje y transporte de acuerdo a la normatividad vigente y respetando los protocolos ambientales. El material es un factor muy determinante en el campo de la construcción y por este motivo también se puso especial énfasis en su control de calidad y pruebas necesarias para cumplir con el protocolo.

Para lograr la correcta selección en cuanto al sistema y proceso constructivo a utilizar es necesario tomar en cuenta factores determinantes como los materiales, la mano de obra y tiempos de ejecución de la obra el costo que conlleva un sistema específico y la disponibilidad del equipo y maquinaria.

La producción de cualquier sistema prefabricado debe cumplir con características de producción estrictas, debido a su compromiso de cumplir con la calidad necesaria, según la normatividad vigente en sus procesos de selección de material, procesos constructivos, procesos de transporte y montaje sean adecuadamente aplicados para la optimización del proyecto ejecutado.

La prefabricación aplicada a la rama de la construcción puede aumentar la capacidad y la calidad del ciclo productivo y así permitir desarrollar proyectos de distinta índole, en tiempos mas reducidos y posiblemente con costos menores. Para que la construcción se pueda industrializar, esta debe ser económicamente viable, o sea que si los costos resultan mayores, no es recomendable.

Si un proceso o elementos presentan la característica de poderse producir en fabrica o en obra y se opta por su producción en planta y por lo consiguiente disminuyen el trabajo en obra. Los tipos de prefabricación son la abierta, que consta de piezas que se fabrican por medio de convenios y las cuales deben ser similares sin importar quien las fabrique, y la denominada fabricación cerrada que es en la que se fabrican elementos para una determinada obra con especificaciones únicas del proyecto. El tipo de prefabricados a utilizar dependerá de su conveniencia con respecto a la obra.

La prefabricación es un proceso industrializado de fabricación en serie que logra hacer eficiente el uso de los prefabricados y por lo que en este proyecto del viaducto elevado observamos que la construcción del tramo elevado fue muy eficiente respecto al sistema constructivo de elementos en sitio y el cual en tiempo y costo fue menor como se demostró en el ejemplo contenido en este trabajo.

Se debe tomar en cuenta que debe existir una logística muy estricta en la obra, que coordine la fabricación de elementos, transporte y montaje de estos dependerá de la eficiencia en tiempo para no interferir con el avance de estos, un factor muy importante de esto, es que el prefabricado para su transporte sobre vialidades principales se debe tomar en cuenta que la normatividad de la SCT es muy estricta en cuanto a los horarios en que pueden transitar estos elementos sobre vialidades principales sin afectar la estructura de pavimentos, ni la circulación sobre estas vialidades. Debido a estos factores y la coordinación en obra a la llegada del elemento a obra la logística debe ser lo suficientemente eficiente e inmediatamente comenzar el montaje de elementos que se trasladan a obra. Se debe tomar en cuenta que durante el traslado a obra se deben considerar los cuidados que requiere el prefabricado para no dañarse en la maniobra a campo, este mismo principio se aplica al montaje de elementos, ya que si no se tiene el cuidado necesario para trasladar y montar la pieza, se puede dañar gravemente y en consecuencia ya no cumple con los requerimientos de diseño y calidad que el prefabricado debe cumplir. Por este motivo se puede considerar que la construcción con elementos prefabricados es una obra muy noble y limpia debido a que los elementos no obstruyen las vialidades con su traslado ni su almacenamiento en las avenidas de gran demanda.



## **GLOSARIO:**

**Contraflecha:** es el efecto que surge en cada pieza pretensada como resultado de la aplicación de presfuerzo, deformando hacia arriba los elementos.

**Curado:** es el proceso mediante el cual se asegura la hidratación de las partículas e cemento, al suministrar constantemente la humedad necesaria.

**Muertos:** es el nombre que recibe la estructura que se fija permanentemente a piso cuyo peso y resistencia sirve para soportar la fuerza del presfuerzo que será transmitido a las piezas de prefabricado de concreto.

**Pretensado:** es la ejecución del presfuerzo de los tendones o línea de tensado, anclando estos a un sistema de muertos fijados en piso, para proceder al colado del concreto en moldes o líneas de producción.

**Postensado:** se basa en la transferencia del presfuerzo una vez que el concreto ya ha fraguado, fijando su sistema de anclaje de torones en la misma pieza.

**Torón:** es especie de hilos e alambre de acero que enrollados facilitan la transferencia del presfuerzo si son colocados en piezas de concreto prefabricadas.

## **BIBLIOGRAFIA:**

### **COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE TAMAULIPAS**

A.C.[http://www.cict.org.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=26&Itemid=40](http://www.cict.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=40)

<http://www.arqhys.com/construccion/elementos-estructurales-construccion.html>

NTC, Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado.

### **Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas.**

Anippac, Instituto de Ingeniería de la UNAM.

### **Mecánica de Materiales.**

Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston, Jr.

[http://construconcreto.webpin.com/755419\\_2-6-Losas-macizas.html](http://construconcreto.webpin.com/755419_2-6-Losas-macizas.html)

<http://es.scribd.com/doc/11113220/Capitulo-5-Procesos-Constructivos-Pag-57149>

### **Construcción de Estructuras de Concreto Presforzado.**

Autor: Ben C Gerwick .

Editorial: Limusa.

### **Costo y tiempo en edificación**

Autor: Carlos Suárez Salazar

Editorial: Limusa

### **Diseño y Control de Mezclas de Concreto.**

IMCYC 1ª Edición

Autores: Steven H. Kosmatka, William C. Panarece

### **Diseño de Estructuras de Concreto Presforzado.**

T.Y. LIN; CECSA; México

### **Hormigón Armado y Hormigón Pretensado Propiedades de los materiales y procedimientos de cálculo.**

Ed: Cecsca.

Autor: Gubert Rüsck

### **ISO 9000,**

PANORAMA EDITORIAL 2ª edición 1994

Autor: Bryan Rothery,

### **Apuntes de estática estructural**

Autor: Ing. Fernando Monroy Miranda.

Facultad de Ingeniería UNAM.

**NOM-012-SCT-2-1995** de transporte de objetos indivisibles de gran peso o volumen, peso y dimensiones de las combinaciones vehiculares de las grúas industriales y su tránsito por caminos y puentes de jurisdicción federal.

**Norma oficial mexicana NMX-C-248-1978 Para Elementos de Concreto Presforzado.**

La Secretaria de Comercio y Fomento Industrial.

Dirección General de Normas.

**Planeacion y Dirección para Empresas Constructoras.**

Instituto Politécnico Nacional.

Autores:

Mario MoralesGutiérrez.

Ana Maria del Carmen Blanco y

González

**Primeros elementos precontruidos para la carga**

Ed.Coignet.

**Reglamento de La Ley De Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas ultima reforma 29 de noviembre de 2006 según el Diario Oficial de la Federación.**

**Vías de comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos Puentes y Puertos**

Autor: Ing. Carlos Crespo

Editorial: Limusa.

