



# UNIVERSIDAD VILLA RICA

---

---

ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ESTRUCTURAS DE CONCRETO PRESFORZADO”**  
(SISTEMAS DE FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y MONTAJE)

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**CARLOS ALBERTO PARRA MONROY**

**Director de Tesis:**

ING. GILBERTO NICOLÁS GARCÍA TORRES

**Revisor de Tesis**

ING. JUAN SISQUELLA MORANTE



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Con el corazón en la mano y con toda la humildad quiero agradecerle a mi madre por el apoyo que me brindo para poder cumplir con esta meta, y que con su gran sacrificio a través de estos años pudo guiarme por este camino del éxito.

Debo agradecer de manera especial y sincera a mi hija y sobre todo a mi esposa, por esperarme todos los días y momentos cuando me ausente durante el proceso de mi carrera, también por creer en mí y tener la paciencia para que alcanzara la cima.

Quiero expresar mi gratitud a mi padre y a mis familiares, que con toda su amabilidad y ánimo me facilitaron todo su apoyo para cumplir con la meta.

Y por último me gustaría darles las gracias a mis maestros que forjaron el conocimiento en mí para ser un excelente profesionista, y a mis amigos que hicieron más ameno cada día durante este proceso.

***Solo un hombre con dedicación y empeño  
tiene la oportunidad de  
alcanzar el éxito.***

***C.P.***

## ÍNDICE

# ESTRUCTURAS DE CONCRETO PRESFORZADO

(Sistemas de Fabricación, Transporte y Montaje)

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. METODOLOGÍA</b> .....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN. ....	4
1.3 OBJETIVOS. ....	5
1.4 HIPÓTESIS. ....	5
1.5 TIPOS DE ESTUDIO. ....	6
1.6 RECOPIACIÓN DE DATOS. ....	6
1.7 ALCANCE. ....	7
<b>CAPÍTULO II. ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO PRESFORZADO</b> .....	8
2.1 ANTECEDENTES DEL CONCRETO PRESFORZADO. ....	8
2.2 DEFINICIÓN DE CONCRETO PRESFORZADO. ....	12
2.2.1 ¿POR QUÉ EL CONCRETO PRESFORZADO? .....	14
2.3 CONCEPTOS BÁSICOS DEL CONCRETO PRESFORZADO. ....	15

2.3.1 PRETENSADO.....	16
2.3.2 POSTENSADO.....	17
2.3.3 DEFORMACIONES TÍPICAS DE TRABES PRETENZADAS.....	19
2.3.4 TIPOS DE ACERO UTILIZADOS PARA ELEMENTOS DE CONCRETO.....	20
PRESFORZADO.....	20
2.3.5 TIPOS DE CONCRETOS UTILIZADOS PARA ELEMENTOS DE.....	21
CONCRETO PRESFORZADO.....	21
2.4 ELEMENTOS DE CONCRETO PREFABRICADO.....	23
2.5 PROPIEDADES DE COMPRESIÓN.....	42
2.5.1 CARGAS DE CORTA DURACIÓN.....	44
2.5.2 CARGAS ACTUANTES A LARGO PLAZO.....	45
2.5.3 FATIGA.....	47
2.6 BARRAS DE REFUERZO.....	48
2.7 ACEROS DE PRESFUERZO.....	51
2.8 VENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO.....	52
2.9 DESVENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO.....	53
2.10 APLICACIONES.....	54
<b>CAPÍTULO III. FABRICACIÓN.....</b>	<b>66</b>
3.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS PRESFORZADAS.....	66
3.2 COMPONENTES DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN.....	68
3.2.1 EQUIPO E INSTALACIONES.....	73
3.2.2 MOLDES.....	74
3.2.3 MESA DE COLADO.....	75
3.2.4 CURADO.....	76
3.2.5 DESMOLDE DE ELEMENTOS.....	77
3.3 ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS.....	78

3.4 PLANTAS DE CONCRETO PRESFORZADO EN MÉXICO. ....	79
<b>CAPÍTULO IV. TRANSPORTE Y MONTAJE.....</b>	<b>82</b>
4.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE.....	82
4.1.1 TRANSPORTE. ....	82
4.1.2 EQUIPOS DE TRANSPORTE ESPECIALIZADO. ....	83
4.2 NORMAS Y REGLAMENTOS.....	84
4.2.1 SEGURIDAD.....	85
4.3 CONSIDERACIONES ADICIONALES DE ANÁLISIS.....	86
4.4 MONTAJE.....	86
4.4.1 MONTAJE DE ELEMENTOS VERTICALES.....	87
4.4.2 MONTAJE DE ELEMENTOS HORIZONTALES.....	90
4.4.3 TIPOS Y DIMENSIONES DE EQUIPOS DE MONTAJE. ....	91
4.4.4 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN EL MONTAJE.....	92
4.5 CONEXIONES. ....	95
4.6 ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS DE MONTAJE.....	101
4.6.1 TOLERANCIAS Y HOLGURAS. ....	102
4.7 PROYECTO Y PLANEACIÓN. ....	103
4.8 SEÑALIZACIÓN Y ABANDERAMIENTO. ....	107
4.8.1 CONDICIONES DEL SITIO.....	107
4.8.2 CICLOS TÍPICOS DE OPERACIÓN. ....	109
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>111</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Parámetros típicos de flujo plástico.....	46
TABLA 2. Ejemplos de aplicaciones del concreto presforzado.....	54
TABLA 3. Ciclos de operación promedio de algunos elementos.....	109

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Primera patente de P.H. Jackson sobre concreto presforzado.....	8
FIGURA 2. Idea original del concreto presforzado.....	10
FIGURA 3. Comportamiento de la sección en el concreto armado.....	10
FIGURA 4. Momentos Flexionantes.....	15
FIGURA 5. Pretensado.....	16
FIGURA 6. Postensado.....	18
FIGURA 7. Deformaciones típicas.....	19
FIGURA 8. Prueba de resistencia.....	22
FIGURA 9. Trabe T.....	23
FIGURA 10. Trabe TY.....	24
FIGURA 11. Trabes portantes.....	25
FIGURA 12. Trabe AASHTO.....	26
FIGURA 13. Trabe cajón con aletas.....	27
FIGURA 14. Montaje estructural trabe cajón con aletas.....	28
FIGURA 15. Trabe Universidad De Nebraska.....	29
FIGURA 16. Losa TT.....	30
FIGURA 17. Montaje estructural con losa TT y trabes portantes.....	31

FIGURA 18. Losa TT de peralte variable.....	31
FIGURA 19. Losa TI de peralte variable.....	32
FIGURA 20. Losa extruida.....	33
FIGURA 21. Sistema estructural y método de empleo.....	34
FIGURA 22. Losa múltiple nervada.....	34
FIGURA 23. Prelosas.....	35
FIGURA 24. Sistema estructural de prelosa.....	36
FIGURA 25. Losa canal.....	36
FIGURA 26. Sistema estructural de losa canal.....	37
FIGURA 27. Losa nervadura T.....	37
FIGURA 28. Armado estructural losa nervadura T.....	38
FIGURA 30. Tipos y formas de viguetas y bovedillas.....	40
FIGURA 31. Premexcimbra.....	41
FIGURA 32. Losa con viga cuña.....	42
FIGURA 33. Curvas de deformación unitaria respecto a Esfuerzos de compresión.....	42
FIGURA 34. Curvas de deformación unitaria respecto a Esfuerzos de compresión en concretoslivianos.....	44
FIGURA 35. Curvas esfuerzo-deformación unitaria por varias tazas de deformación en compresión concéntrica.....	46
FIGURA 36. Curva típica de flujo plástico.....	46
FIGURA 37. Grafico límite de fatiga del concreto.....	47

FIGURA 38. Diámetros comunes de acero de refuerzo.....	49
FIGURA 39. Nomenclatura de las barras de refuerzo.....	49
FIGURA 40. Requisitos mínimos de resistencia de la ASTM.....	50
FIGURA 41. Cable de presfuerzo.....	51
FIGURA 42. Trabes, losas y columnas como elementos presforzados.....	56
FIGURA 43. Figura 43. Puente “Bicentenario” .....	57
FIGURA 44. Tanque de Almacenamiento.....	57
FIGURA 45. Foro sol.....	58
FIGURA 46. Periférico ecológico.....	59
FIGURA 47. Túnel de los cipreses.....	60
FIGURA 48. Túnel del cajón para el metro Cd. México.....	61
FIGURA 49. Cubierta de la iglesia de Santiago Apóstol.....	61
FIGURA 50. Puente Quetzalapa.....	62
FIGURA 51. Edificio de oficinas.....	63
FIGURA 52. Edificio de oficinas “Corporativo Revolución” .....	63
FIGURA 53. Tienda SAM’S CLUB.....	64
FIGURA 54. Estacionamiento Acapulco.....	64
FIGURA 55. Estacionamiento de 2 niveles para el colegio Americano.....	65
FIGURA 56. Fabricación en obra de una viga cajón con aletas pretensada.....	66
FIGURA 57. Detalle de almacenaje y transporte de cemento a granel en una planta de producción.....	67
FIGURA 58. Detalle de las zonas de almacenaje del acero de presfuerzo.....	69

FIGURA 59. Habilitación de acero.....	69
FIGURA 60. Habilitado de acero estructural y mesas de colado.....	70
FIGURA 61. Molde y mesa de colado presforzado para trabes doble T. y Fabricación de concreto en planta.....	70
FIGURA 62. Retoque, resane y almacenamiento.....	71
FIGURA 63. Zona de almacenaje y estibaje de piezas.....	72
FIGURA 64. Corte y modelado de varilla de acero.....	73
FIGURA 65. Logo planta Presforza S.A. C.V.....	79
FIGURA 66. Logo empresa FAPRESA.....	79
FIGURA 67. Logo Grupo constructor SEPSA.....	80
FIGURA 68. Logo compañía ICA.....	80
FIGURA 69. Logo Grupo PRETENCRETO.....	80
FIGURA 70. Logo empresa SPANCRETE.....	81
FIGURA 71. Logo empresa FREYSSINET.....	81
FIGURA 72. Logo empresa vibosa.....	81
FIGURA 73. Grúa telescópica.....	91
FIGURA 74. Conexión de elementos de piso prefabricado.....	96
FIGURA 75. Diferentes geometrías de conexiones en elementos prefabricados.....	98
FIGURA 76. Ubicaciones fuertes y de regiones diseñadas para comportamiento Inelástico.....	100

## INTRODUCCIÓN

El concreto presforzado ha surgido como una respuesta a la intensa búsqueda de nuevos métodos constructivos que permitan superar los obstáculos que genera el concreto armado y que además cumplan con las más exigentes normas de calidad.

Se presentó al inicio de su concepción como una variante incomprendida del concreto armado, hoy en día se considera como uno de los mejores aliados y, algunas veces, sustituto de las antiguas tendencias constructivas del concreto armado y las estructuras metálicas de gran envergadura.

Como un sistema sustentable de innovación, los grandes puentes colgantes de acero han sido sustituidos por grandes estructuras de concreto presforzado y los edificios con arquitecturas antes imposibles de realizarse con concreto armado, hoy son una realidad gracias a este método constructivo

Por la creciente demanda de vivienda de tipo económico y otras edificaciones, que sean fáciles y rápidas de construir, se ha visto incrementada la construcción en concreto prefabricado

El concreto prefabricado consiste en elementos de concreto, presforzado y sin presforzar, que son fundidos en un lugar distinto al de su ubicación final.

Los prefabricados de concreto, dependiendo del uso específico que se les vaya a dar pueden ser de tres tipos, siendo estos:

Prefabricados con refuerzo simple sin presfuerzo.

Prefabricados con presfuerzo.

Prefabricados postensado.

Los prefabricados con refuerzo, son elementos muy comúnmente usados en construcciones como edificios, viviendas unifamiliares, cercos de cerramientos, fachadas, puentes, pasos a desnivel, hospitales etc.

Los prefabricados con presfuerzo o postensado, se usan en estructuras como puentes, muros de contención, edificios de varios niveles, etc.

Es un claro ejemplo de tecnología y actualización de procesos el uso de técnicas constructivas como el manejo del concreto presforzado, por esto, los ingenieros han decidido emplear de primera mano estos métodos.

## **CAPITULO I. METODOLOGÍA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En México contamos con una variedad muy grande de procesos de construcción los cuales representan la evolución y las capacidades de la ingeniería en nuestro país. Es un hecho que las múltiples exigencias del sector constructivo han aumentado con el paso de los años, y los desarrollos productivos se han ampliado así como la tecnología y las innovaciones en la ingeniería.

Por lo general los diseños cada día están más apegados a proyectos especiales y con criterios arquitectónicos exuberantes, los cuales deben de ir en armonía con los diseños estructurales y técnicas de construcción, por esta razón se necesita contar con estructuras que satisfagan todas las especificaciones requeridas.

Lo que se busca resolver y mejorar es la composición estructural en los sistemas constructivos y en las estructuras para que mejoren las capacidades de carga, la funcionalidad, los criterios límites de servicio y fallas posibles.

Con el uso de elementos estructurales prefabricados (pre-tensado y post-tensado) obtener las mejores condiciones de diseño, montaje y cálculo.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN.**

El uso de sistemas de producción, fabricación, montaje y diseño de estructuras presforzadas en la actualidad es un campo muy versátil y los diferentes métodos y protocolos para construcciones de proyectos que requieren de este tipo de piezas, son una manera muy práctica, óptima y económica de usarse, hablando en tiempo y sistemas de construcción, comparándolos con otros sistemas productivos existen grandes ventajas que mejoran muchos puntos.

Además estos procesos aumentan en proporción la calidad de resistencia de las obras, con el fin de brindarle al ingeniero mejores horizontes de análisis estructural.

En las obras de gran escala y con factores de seguridad altos, estas piezas de concreto presforzado son los mejores elementos para construir desde puentes hasta estadios con la certeza de asegurar la integridad y los criterios de falla, además que puede estar controlado en fábrica su método constructivo.

### **1.3 OBJETIVOS.**

El presente texto tiene como cometido desarrollar y estudiar los procesos de producción y diseño de estructuras de concreto presforzado, con los objetivos de valorizar, analizar y conocer las variantes y técnicas de los métodos de fabricación de piezas utilizadas en sistemas constructivos complejos. Se describirán y sustentaran los fundamentos de diseño, calidad y métodos de construcción.

Para que una estructura cumpla sus propósitos debe ser segura contra colapso y funcional en condiciones de servicio. La funcionalidad requiere que las deflexiones sean pequeñas, que las fisuras, si existen, se mantengan en límites tolerables, que las vibraciones se minimicen, etc. La seguridad requiere que la resistencia de la estructura sea la adecuada para todas las cargas que puedan llegar a actuar sobre ella. Si la resistencia de la estructura, construida tal como se diseñó, pudiera predecirse en forma precisa, y si las cargas y sus efectos internos (momentos, cortantes, fuerzas axiales) se conocieran con precisión, la seguridad podría garantizarse proporcionando una capacidad portante ligeramente superior a la que se requiere para las cargas conocidas.

Los puntos y objetivos son sintetizables al grado de conocer y llevar a cabo el desarrollo de un proyecto donde se describirá los conceptos mencionados anteriormente.

### **1.4 HIPÓTESIS.**

En el arte de la construcción se han desarrollado innumerables técnicas a través de su historia y ha ido evolucionando de manera muy rápida, la apreciación de los sistemas constructivos cada día es más relevante e innovadora. La ingeniería civil en su ramo estructural tiene como necesidad contar con los mejores proyectos, diseños, cálculos y sobre todo con tiempos óptimos de operación.

Una de las técnicas de vanguardia en la construcción de estructuras en la actualidad es el “Concreto Presforzado” ó “Prestressed Concrete” el cual brinda a los ingenieros y a las compañías constructoras en sus proyectos, cualidades y características estructurales que mejoran los aspectos de los elementos de concreto, hablando generalmente de vigas, losas, trabes, columnas, etc., así como en su campo de trabajo que se presentan en ; puentes, edificios, túneles, distribuidores viales, pasos a desnivel entre otros, generalmente con el fin de buscar la mejor operación del sistema y aprovechando claros amplios y funcionales.

### **1.5 TIPOS DE ESTUDIO.**

Los medios requeridos para este tema son estudios y búsquedas bibliográficas, consultas digitales, conceptos y especificaciones de producción en fábricas correspondientes especializadas en el ramo de la construcción de estructuras presforzadas. Es necesaria la asociación con los conceptos de diseño estructural y cálculo de elementos de la construcción, reconocimiento de estructuras y proyectos que recurren al uso de este género de piezas.

### **1.6 RECOPIACIÓN DE DATOS.**

Se analizaran cuáles son los métodos, sistemas constructivos, procesos de montaje, transporte, procesos generales de fabricación, en Estructuras de Concreto Presforzado obteniendo de diferentes medios bibliográficos y de información con el fin de generar un manual de sistemas de fabricación y montaje de elementos presforzados.

Tomando en cuenta las especificaciones y normas que actualmente se manejan en la industria de la construcción y con los requerimientos oficiales pertinentes.

## **1.7 ALCANCE.**

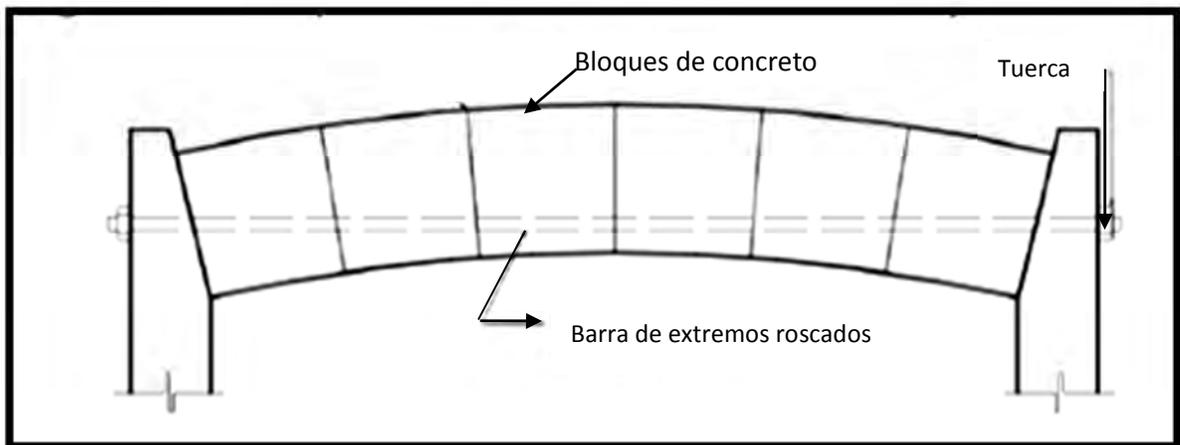
El uso de estructuras de concreto presforzado es garantía de un método constructivo con altos estándares de calidad, el cual busca optimizar cada uno de los aspectos requeridos para llevar a cabo el desarrollo de una obra excelente.

Este proyecto pretende extenderse analizando los conceptos básicos de sistemas de construcción y montaje de estructuras de concreto presforzado hasta los métodos de fabricación y costos generales de todos los requerimientos y especificaciones que influyen. Se tomarán en cuenta los conceptos básicos de las estructuras de concreto presforzado así como sus materiales de fabricación, transporte y montaje.

## CAPITULO II. ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO PRESFORZADO

### 2.1 ANTECEDENTES DEL CONCRETO PRESFORZADO.

La primera aplicación del presforzado en el concreto se atribuye al ingeniero P. A. Jackson, de San Francisco, Estados Unidos, el cuál patentó en el año de 1872 un esquema novedoso para la construcción de arcos y bóvedas. En el año de 1907, Lund inició la fabricación de bóvedas presforzadas constituidas por bloques de concreto, unidos mediante mortero.



**Figura 1. Primera patente de P.H. Jackson sobre concreto presforzado**

La idea original del concreto presforzado surgió aproximadamente en 1888 con el concepto de precompresión de Doehring. Según ésta, las placas y las vigas se fabricaban vertiendo el concreto fresco en cofres donde previamente se presforzaban barras de acero.

Esta idea desafortunadamente fue abandonada a principios del siglo XX pues al descuidar las calidades de los materiales (concreto y acero), los elementos se comportaban de forma similar a los del concreto armado. No es hasta 1928 que el ingeniero francés Freyssinet retoma el fundamento original del concreto presforzado y justifica la necesidad de su uso a partir del empleo de materiales de alta calidad.

Comienza así su desarrollo como parte de la ingeniería estructural. Una definición muy difundida del concreto presforzado parte de eliminar los esfuerzos de tensión en el concreto mediante la introducción de esfuerzos artificiales de compresión antes de la aplicación de cargas externas y que, superpuestas con éstas, los esfuerzos de tensión totales permanentes; y para todas las hipótesis consideradas, queden comprendidas entre los límites que el material puede soportar indefinidamente.

En resumen, el presforzado se lleva a cabo tensando acero de alta resistencia para inducir esfuerzos de compresión en la sección de concreto.

Mediante un detallado estudio de repartición de los aceros de presfuerzo en la sección transversal, es posible garantizar que toda la sección se encuentre solicitada a esfuerzos de compresión. Al entrar en servicio el elemento debido a la flexión, tienen lugar en éste, esfuerzos de tensión y compresión que sumados con los esfuerzos resultantes del pretensado aplicado previamente, resultan en un diagrama de esfuerzos; en el que la sección transversal íntegramente trabaja a compresión

En general, el concreto presforzado se constituye de los mismos materiales que el armado: concreto y acero. Asimismo, la diferencia fundamental entre ambos radica en que en el concreto armado sólo trabaja a compresión la parte de la sección transversal que se ubica en la zona comprimida; y es el acero de refuerzo el que soporta los esfuerzos de tensión. Por esta razón, el acero de refuerzo en el concreto armado puede considerarse como un “concreto ficticio” de elevada resistencia, concebido desde un principio, para absorber los esfuerzos de tensión que se originan en la sección transversal debido a las diferentes acciones que se pueden generar.

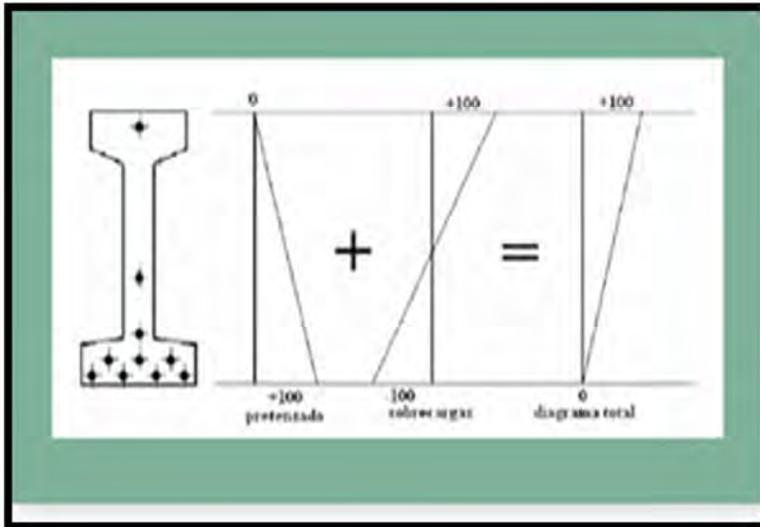


Figura 2. Idea original del concreto presforzado

En el caso del concreto presforzado, la armadura de refuerzo se concibe para crear artificialmente niveles de fuerza o de esfuerzos a fin de que toda la sección transversal se encuentre sometida íntegramente a esfuerzos de compresión;

eliminándose o limitándose así los esfuerzos de tensiones; y por ende, la fisuración o agrietamiento asociado.

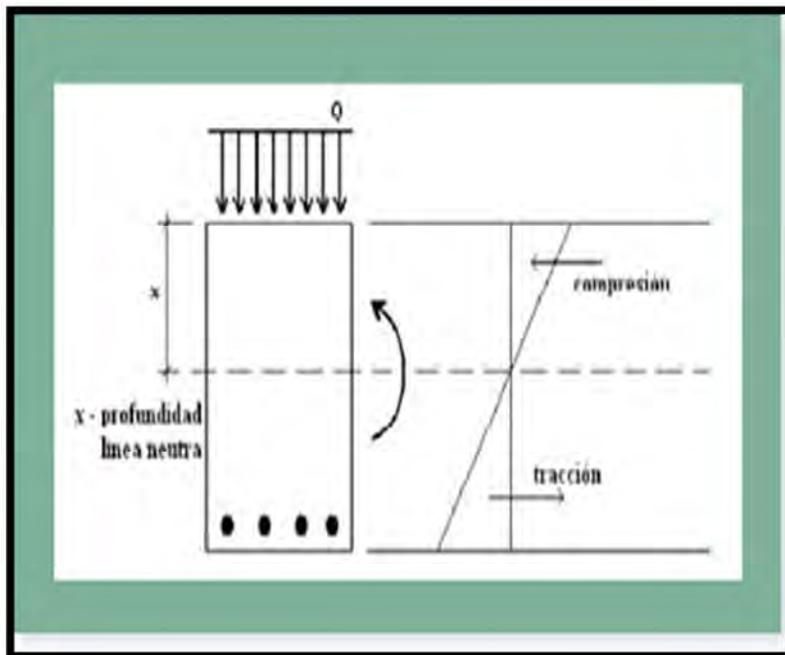


Figura 3. Comportamiento de la sección en el concreto armado

Las fuerzas compresoras se inducen en la sección de concreto presforzado a través de la aplicación de tensiones (alargamiento) en el acero de refuerzo antes (concreto pretensado) o después de que se endurezca el concreto (concreto postensado).

Una vez que el concreto se ha endurecido alrededor de estos refuerzos tensados, se sueltan estos últimos y se acortan, induciéndose así por adherencia, esfuerzos de compresión en toda la superficie que conforma la sección de concreto.

En el caso del concreto postensado, la adherencia se garantiza por medio de la inyección, por lo general, de materiales cementicios en el interior del conducto, por donde se hace circular el acero de refuerzo una vez que el concreto ha quedado suficientemente endurecido. Especial importancia en la inducción de esfuerzo de compresión por adherencia, tiene la estimación de la resistencia del concreto a la compresión al momento de la transferencia, pues se debe garantizar que el concreto absorba por sí solo los grandes esfuerzos de compresión concentrados que se generan alrededor de los aceros de refuerzo (presfuerzo).

Fue Freyssinet quien reveló las directrices a seguir para su empleo en la construcción y aclaró el comportamiento plástico del concreto bajo la acción del presforzado. Igualmente recomendó el uso de concretos de buena calidad (altos niveles en la resistencia a la compresión y en el módulo de elasticidad) y aceros de elevado límite elástico.

Si se compara un elemento de concreto armado con otro de concreto presforzado, las ventajas de este último son muy evidentes. Entre las ventajas más importantes se pueden citar las siguientes:

1. Es recomendable su uso en estructuras impermeables o en aquellas expuestas a agentes agresivos; hecho que tiene lugar por eliminarse las fisuras estando los elementos sometidos a esfuerzos de compresión bajo todas las hipótesis de cargas.
2. La escasa o nula fisuración posibilita que la sección del elemento trabaje íntegramente. Por consiguiente toda ella se considera útil o efectiva.
3. La sección se desempeña en el rango elástico; lo que de alguna manera redundará en una mayor flexibilidad en el elemento, al limitarse los efectos de fluencia y retracción.
4. Posibilita ahorro de acero al utilizar totalmente la armadura hasta cerca de su límite elástico (aceros de elevado límite elástico) y, como consecuencia: una reducción en la cuantía de acero de refuerzo.

5. Se consiguen reducciones considerables de las dimensiones de las secciones de los elementos, y por tanto: aligeramiento de la estructura, lo que a su vez redundará en una reducción de la masa dinámica y por tanto de los niveles en los esfuerzos de diseño.

6. El uso de concreto presforzado permite que los elementos cubran grandes claros con pequeños niveles de peralte, lo que trae como consecuencia una reducción en el consumo de materiales.

7. Al limitarse los niveles de fisuramiento se eleva la durabilidad de la construcción.

Asimismo, el concreto presforzado tiene algunas desventajas respecto al concreto armado, aunque es importante referir que en general no minoran su importancia y extendido uso en la construcción.

Entre las desventajas están que para su fabricación se requieren equipos e instalaciones especiales; que se necesitan materiales (acero y concreto) de altas prestaciones, lo que infiere por este concepto elevados costos; que se requiere personal calificado en el proceso de construcción y montaje; que es necesaria la consideración de elevados procesos de control de calidad, tanto en el proceso de producción como en el de la puesta en obra, y que por lo general se requiere el desarrollo de sofisticados proyectos de ingeniería, en los que se especifiquen a detalle estrictos procesos constructivos.

## **2.2 DEFINICIÓN DE CONCRETO PRESFORZADO.**

El presfuerzo significa 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.

Gracias a la combinación del concreto y el acero de presfuerzo es posible producir en un elemento estructural, esfuerzos y deformaciones que contrarresten total o parcialmente a los producidos por las cargas gravitacionales que actúan en un elemento, lográndose así diseños más eficientes.

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.

Las varillas para el esfuerzo 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 refuerzo de concreto”, o la A-617 “varillas de acero de riel relaminada 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 pulg, hasta  $1 \frac{3}{8}$  de pulg, con incrementos de  $1/8$  de pulg, y también en dos tamaños más grandes de más a menos  $1 \frac{3}{4}$  y  $2 \frac{1}{4}$  de pulg.

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 de diferentes resistencias. Los grados 40,50 y 60 tienen resistencias mínimas especificadas para la fluencia de 276, 345 y 414  $N/mm^2$  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 De 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.

### 2.2.1 ¿POR QUÉ EL CONCRETO PRESFORZADO?

Gracias a la combinación del concreto y el acero de presfuerzo es posible producir, en un elemento estructural, 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.

En la figura se muestran los diagramas de momentos debido a cargas vertical,  $W$ , y a la fuerza de presfuerzo,  $P$ , para una viga simplemente apoyada. La carga vertical y la fuerza de presfuerzo son las mismas para las tres vigas; sin embargo, los diagramas de momento debidos a las distintas condiciones de la fuerza de presfuerzo difieren entre sí. La viga I tiene presfuerzo axial, es decir, el centro de gravedad de los torones se encuentra en el eje neutro de la sección. El presfuerzo así colocado no provoca ningún momento en la sección por lo que desde este punto de vista no hay ventajas al colocar presfuerzo axial.

En la viga II el presfuerzo produce un diagrama de momento constante a lo largo del elemento debido a que la trayectoria de la fuerza  $P$  es recta y horizontal, pero esta aplicada con una excentricidad,  $e$ . con esto se logra contrarrestar el momento máximo al centro del claro provocando por la carga vertical. Sin embargo, en los extremos de la viga II el momento provocado por el esfuerzo resulta excesivo ya que no existe momento por cargas verticales que disminuya su acción. En este caso, un diseño adecuado deberá corregir este exceso de momento. Por último, en la viga III se tiene una distribución de momentos debida al presfuerzo así colocado, con excentricidad pequeña en los extremos y máxima al centro del claro, contrarresta eficientemente el efecto de las cargas en cada sección de la viga.

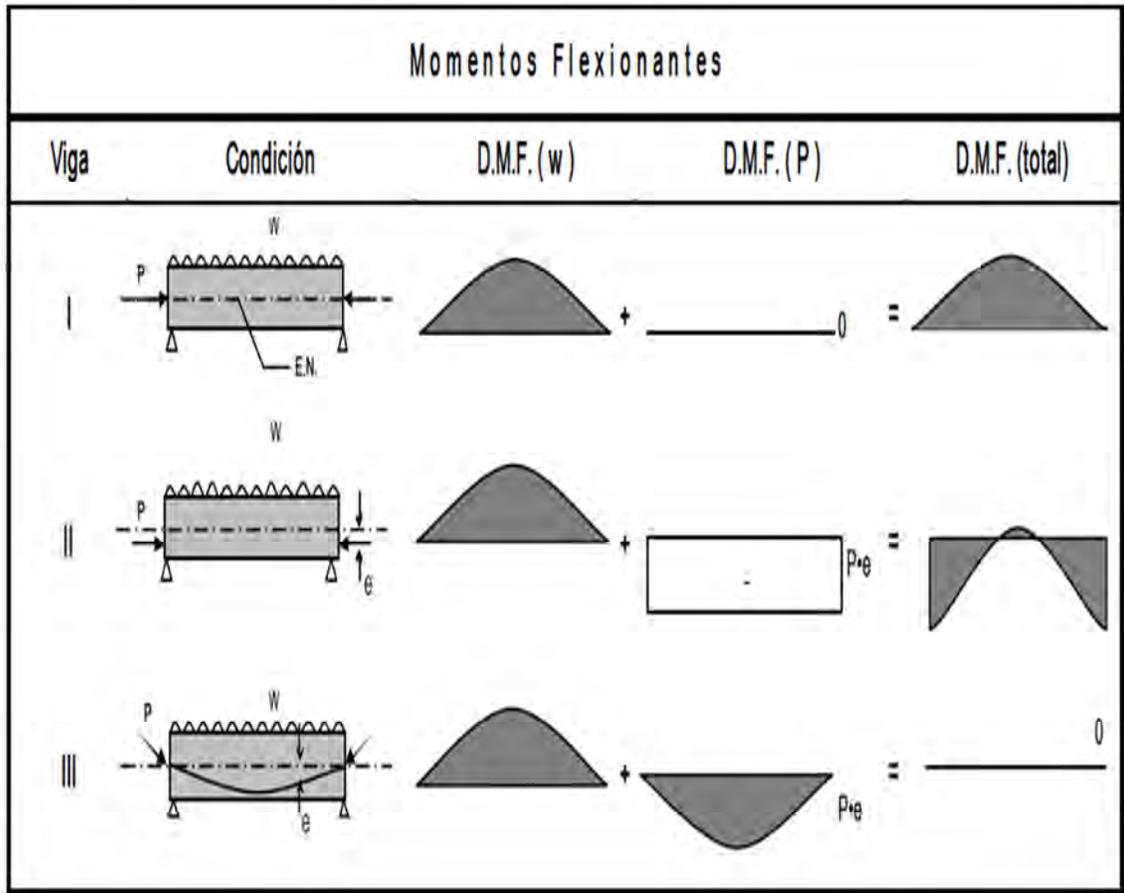


Figura 4. Momentos Flexionantes

### 2.3 CONCEPTOS BÁSICOS DEL CONCRETO PRESFORZADO.

En el concreto presforzado existen dos categorías: pretensado o 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.

### 2.3.1 PRETENSADO.

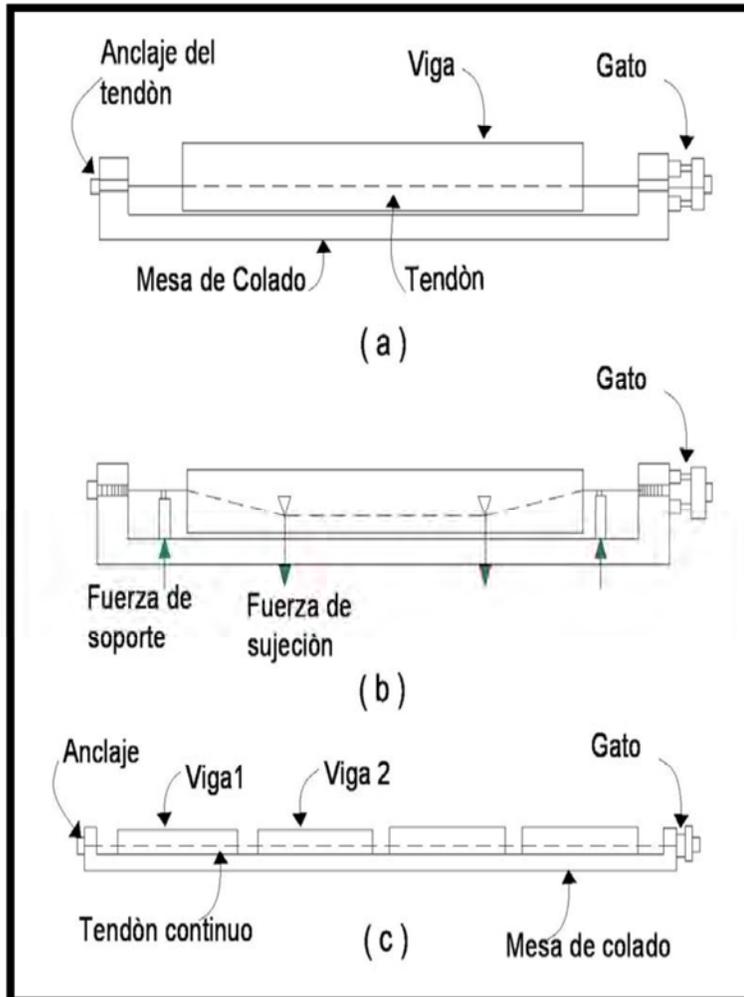


Figura 5. Pretensado

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 alta resistencia a corto tiempo, alavez 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 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.

**Pretensado:**

Producción en serie:

Características:

- 1) Se tensan los torones “antes “del colado.
- 2) Se requieren de muertos de anclaje o moldes autotensables.
- 3) Se aplica a producción en serie en plantas prefabricadoras.
- 4) Se reutilizan moldes e instalaciones.
- 5) El anclaje se da por adherencia.

**2.3.2 POSTENSADO.**

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 torcido en torones, o varillas de acero. El ducto se amarra con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos son reforzar) para prevenir su desplazamiento accidental, y luego se vacía el concreto. Cuando este 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 o bien utilizando el gato monotorón. Normalmente se rellenan de mortero los ductos de los tendones después de que estos 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 en el interior del ducto.

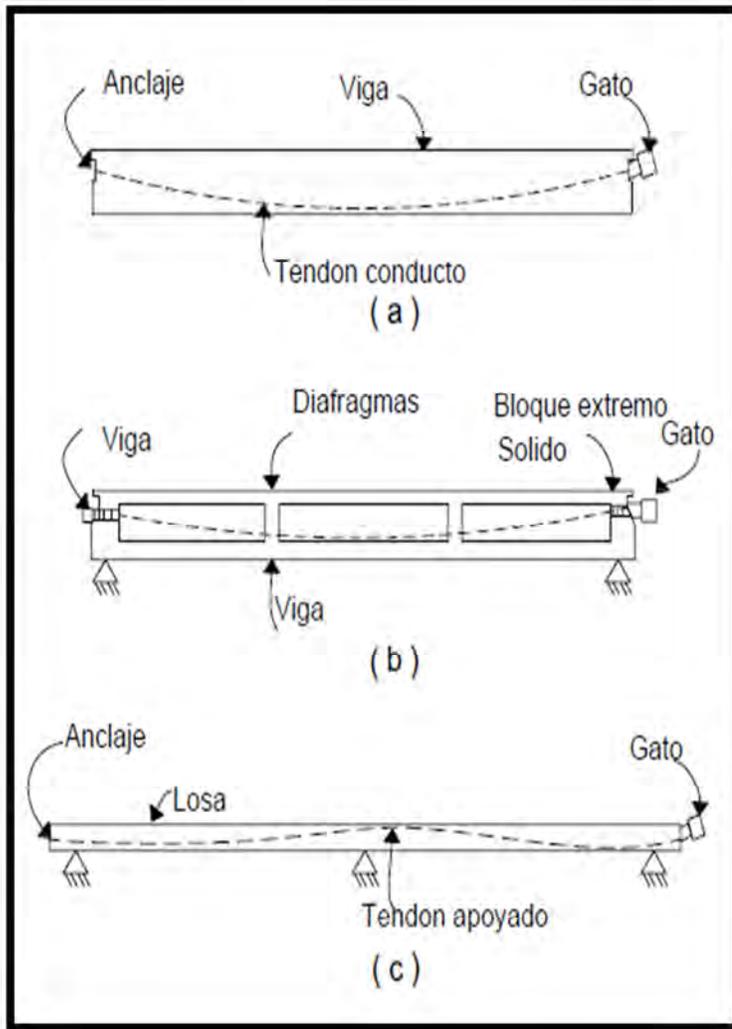


Figura 6. Postensado

### Postensado:

Producción en serie

Características:

1) Se tensan los torones una vez que se ha realizado el colado.

2) Se realiza en el lugar de la obra principalmente.

3) Se requiere dejar ductos ahogados y ubicados según las trayectorias de cálculo.

4) Una vez colocados y tensados los torones se requiere inyectar los ductos con mortero para proteger a los torones.

5) La acción del postensado se ejerce externamente por medio de anclajes especiales.

Aplicable a: Dovelas y Traveses para puentes, Losas con presfuerzo bidireccional, Diafragmas de puentes, Vigas hiperestáticas.

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 módulo 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.

### 2.3.3 DEFORMACIONES TÍPICAS DE TRABES PRETENZADAS.

- Tomando en cuenta la posición de las traves de concreto presforzado se analiza y estructuran los siguientes diseños de deformaciones:

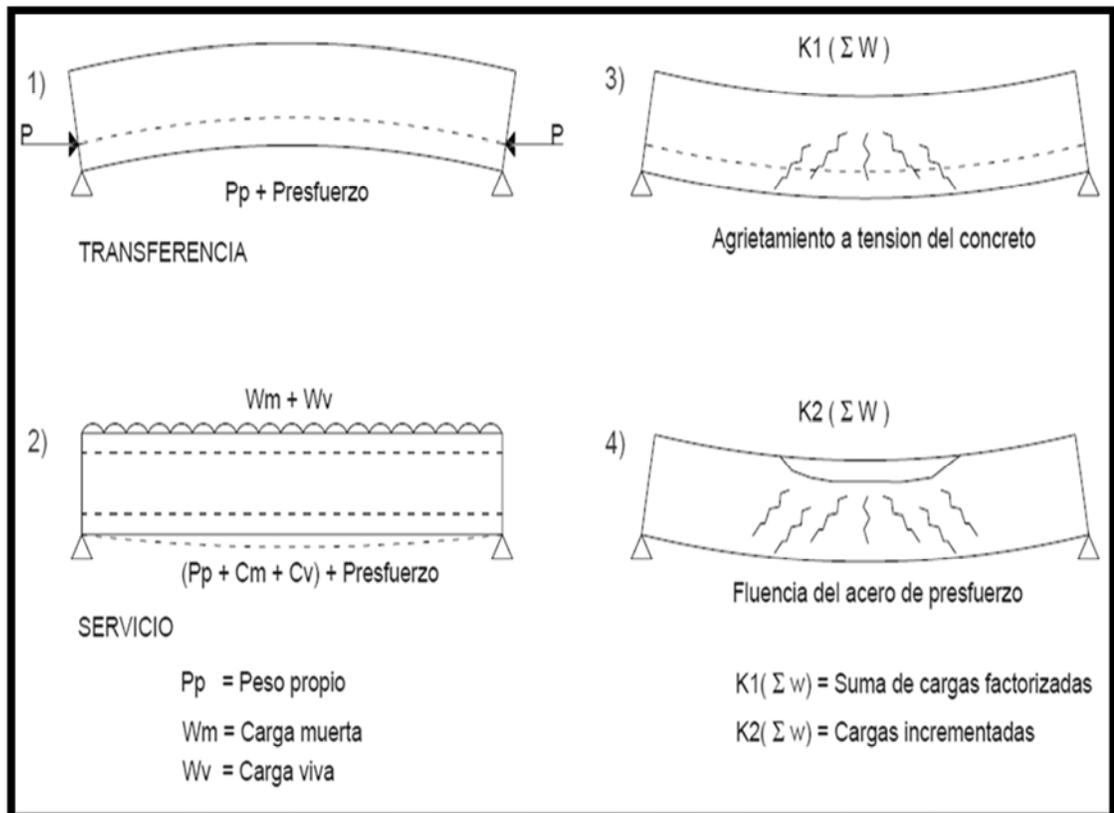


Figura 7. Deformaciones típicas

### **2.3.4 TIPOS DE ACERO UTILIZADOS PARA ELEMENTOS DE CONCRETO PRESFORZADO.**

Los alambres redondos que se usan en la construcción de concreto presforzado pos tensado 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.

“Estos tamaños no se suministran comúnmente para el alambre Tipo BA”

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.

El cable trenzado: se usa casi siempre en miembros pretensados, y a menudo se usa también en construcción postensado. 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.

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 34.93mm de diámetro y en dos grados, el grado 45 y el 160, teniendo resistencias ultimas mínimas de 1000 y 1100 N/mm<sup>2</sup>, respectivamente.

### **2.3.5 TIPOS DE CONCRETOS UTILIZADOS PARA ELEMENTOS DE CONCRETO PRESFORZADO.**

Por razones importantes, el concreto pretensado usado en construcción es caracterizado por tener una gran resistencia mayor a la usada en el concreto reforzado ordinario. Esto usualmente está sujeto a grandes fuerzas y su incremento de calidad generalmente permite mayores resultados económicos. El uso de concretos de alta resistencia permite que las dimensiones de los miembros y las secciones cruzadas se reduzcan al mínimo.

En la actualidad la resistencia a la compresión del concreto usado en estructuras pretensadas está entre 4,000 y 8,000 PSI. (28-55 MPa) es comúnmente especificado para miembros de concreto pretensado. Sin embargo existen concretos con resistencias más altas que varían entre los 12,000 MPa de la que se han usado.



**Figura 8. Prueba de resistencia**

Generalmente se requiere un concreto de mayor resistencia para el trabajo de presforzado que para el reforzado. La práctica actual en puentes pide una resistencia a los cilindros de 28 días de 280 a 350 kg/cm<sup>2</sup> para el concreto presforzado, mientras que el valor correspondiente para el concreto reforzado es de 170 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente.

Un factor por el que es determinante la necesidad de concretos más resistentes, es que el concreto de alta resistencia esta menos expuesto a las grietas por contracción que aparecen frecuentemente en el concreto de baja resistencia antes de la aplicación de presfuerzo.

Es importante seguir todas las recomendaciones y especificaciones de cada proyecto a fin de cumplir con las solicitudes requeridas. Por lo general para obtener una resistencia de 350 kg/cm<sup>2</sup>, necesario usar una relación de agua-cemento no mucho mayor que 0.45. Con el objetivo de facilitar el colado, se necesitara un revenimiento de 5 a 10 cm. Para obtener un revenimiento de 7.5 cm con una relación de agua cemento de 0.45 se requerirán alrededor de 10 sacos de cemento por metro cubico de concreto.

Si es posible un vibrado cuidadoso, se puede emplear concreto con un revenimiento de 1.2 cm o cero, y serían suficientes poco menos de 9 sacos por metro cubico de concreto. Puesto que con una cantidad excesiva de cemento se tiende a aumentar la contracción, es deseable siempre un factor bajo de cemento. Con este fin, se recomienda un buen vibrado siempre que sea posible, y para aumentar la maniobrabilidad pueden emplearse ventajosamente aditivos apropiados.

## 2.4 ELEMENTOS DE CONCRETO PREFABRICADO.

Una estructura de concreto es funcional de acuerdo a los regímenes de diseño y a las especificaciones que se requieran, por esa razón existen y se fabrican en México una variedad de elementos estructurales prefabricados como los siguientes:

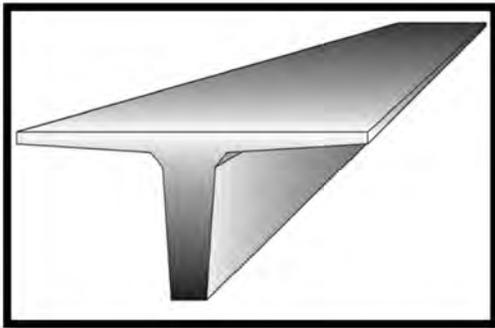


Figura 9. Trabe T

**ELEMENTO:** TRABE "T"

**SECCION:** SIMPLE Y COMPUESTA

**USO:** ENTREPISOS, CUBIERTAS, MUROS DE FACHADAS, PASOS PEATONALES, ETCETERA.

Es un elemento estructural de concreto presforzado diseñado para salvar claros con capacidad para soportar diversas sobrecargas.

Pues sus características de utilización, la sección "T" le permite una gran libertad en el diseño de sus obras.

La sección "T" se utiliza comúnmente en sistemas de entresijos, cubiertas industriales, puentes, muros de lechadas, etc, con claros desde hasta 32 mts.

La sección "T" se fabrica en moldes metálicos o en concreto y metal que pueden ser o no autopresforzantes, se curan a vapor, por lo que permite ciclos de colados diario, en beneficio de un incremento en la productividad.

Estas piezas se fabrican en diferentes anchos hasta 3 mts. Y tanto su peralte como su longitud pueden variar de acuerdo a sus requerimientos.

En la elaboración de la sección "T" se emplean los siguientes materiales, bajo el más estricto control de calidad.

Concreto  $F'c = \text{Kg/cm}^2$

Acero de refuerzo  $Fy = 4000 \text{ Kg/cm}^2$

Acero de presfuerzo  $FSU = 18900 \text{ Kg/cm}^2$

Generalmente se cuenta con equipo y personal especializado para realizar el transporte u montaje de los elementos.



**ELEMENTO:** TRABE "TY"

**SECCION:** SIMPLE

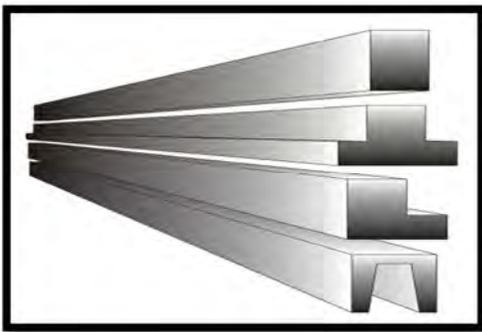
**USO:** ELEMENTO DE CUBIERTA

**Figura 10. Trabe TY**

Solo elementos de concreto presforzado de sección "TY" se fabrican en moldes metálicos, que pueden permitir la curvatura del ángulo que forman las aletas con el nervio que generalmente es de 20 grados existiendo casos en que llega hasta 35 grados con respecto a la horizontal.

Se curan a vapor para incrementar su productividad. Se pueden fabricar en diferentes anchos, peraltes y longitudes según se requiera.

Se emplean como elementos de cubierta para claros hasta de 30 mts, una de sus aplicaciones es; como elementos de cubierta colocándolas una a continuación de otra, se obtiene una apariencia similar a la de la trabelosa o placa plegada, o bien separándolas una cierta distancia y apoyándolas a diferentes niveles y colocando a los extremos de las aletas, lamina estructural de asbesto o metal, con lo que se consigue provocar el escurrimiento pluvial.



**ELEMENTO:** TRABES PORTANTES  
(RECTANGULAR, T INV., SECC.L, CANAL.)

**SECCION:** SIMPLE Y COMPUESTA.

**USO:** ELEMENTO ESTRUCTURAL DE CARGA.

**Figura 11. Trabes portantes**

La integración de un sistema de losa se complementa en la consideración de las “TRABES O VIGAS PORTANTES Y RIGIDIZANTES” siendo prefabricadas se les añade una ventaja; la posibilidad de introducirles presfuerzo y por lo tanto, lograr un mejor comportamiento estructural del sistema.

Existen varias secciones que pueden ser utilizados como vigas portantes de las cuales también pueden funcionar como rigidizantes.

- A) Sección “rectangular” es la más sencilla de las secciones en cuanto a su fabricación y se puede utilizar como trabe portante tanto en ejes extremos como intermedios, es la mas versatil de las trabes puesto que tambien funciona como rigidizante.

- B) Sección “T invertida” es una sección especial, que funciona como trabe portante en ejes intermedios de edificios, debido a su capacidad de recibir carga por ambos lados, por su geometría, logra una importante reducción en la altura por entrepiso de edificio resultando una disminución de los metros cuadrados de acabados en el mismo. De lo anterior se deduce que es conveniente emplear esta sección de edificios de varios niveles. No es recomendable emplear esta sección como trabe rigidizante.
- C) Sección “L” es el complemento de edificios de la sección anterior, ya que se utiliza como trabe portante en ejes extremos por su característica de recibir carga de un solo lado. En ocasiones se fabrica en el mismo molde que la “T” invertida, simplemente tapando un lado del molde para obtener la sección “L”.
- D) Sección “Canal” en naves industriales, para poder transmitir las cargas verticales de la losa, generalmente inclinada, se utiliza la sección canal, la cual permite recibir losas y transmitir el peso a las columnas con la ventaja adicional de permitir desaguar las aguas pluviales hacia la tubería adecuada al tener una sección hueca para aligerar su peso.



**Figura 12. Trabe AASHTO**

**ELEMENTO:** TRABE AASHTO.

**SECCION:** SIMPLE.

**USO:** PUENTES Y TRABES PORTANTES.

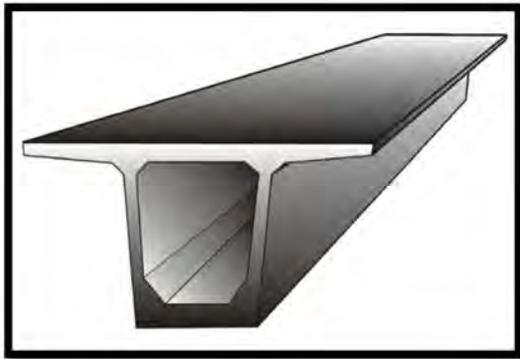
Son elementos de concreto presforzado, ideales para soportar cargas para puentes en claros hasta de 30m.

Su longitud es variable de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Se recomienda utilizar el pretensado en trabes no mayores de 30 mts, ya que su fabricación se realiza en planta industrial, donde se fabrica en moldes metálicos y se cura el concreto a base de vapor, lo que permite silos de colado diario; su producción se realiza bajo estricto control de calidad.

Las traveses AASHTO se utilizan comúnmente en puentes de caminos y pasos a desnivel, salvando vías de ferrocarril, barrancas, ríos, 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.



**Figura 13. Trabe cajón con aletas**

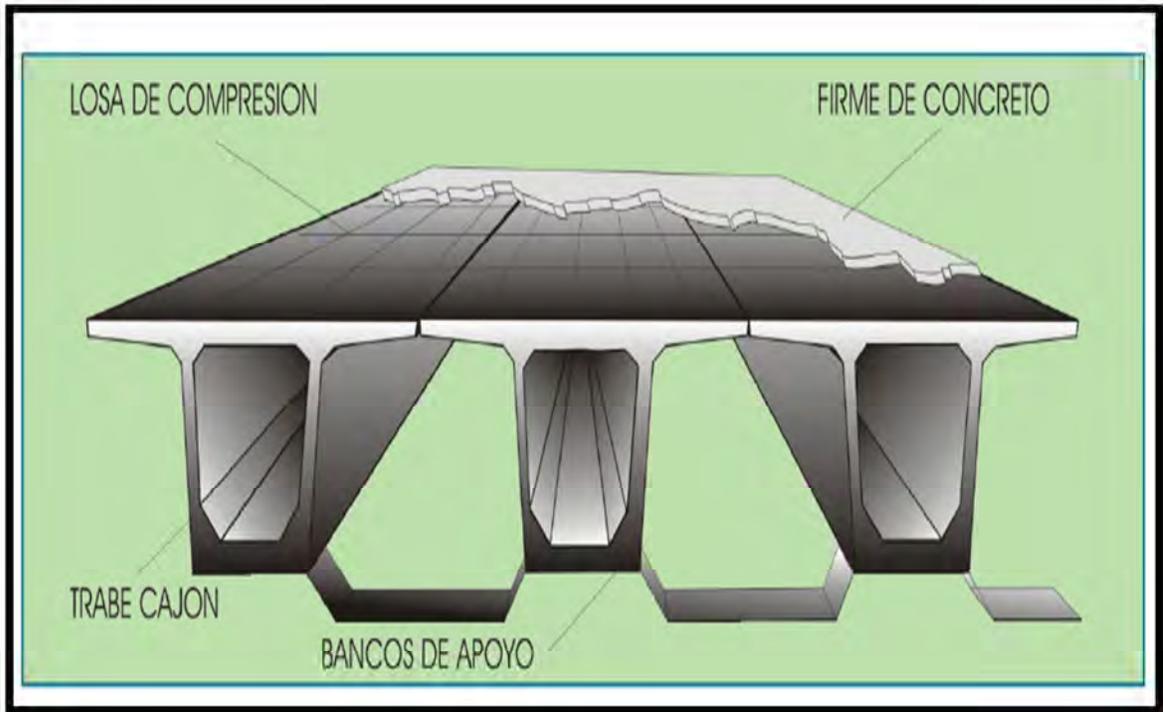
**ELEMENTO:** TRABE CAJON CON ALETAS.

**SECCION:** SIMPLE.

**USO:** PUENTES, CARRETERAS, TRABES PORTANTES Y EN GENERAL PASOS PEATONALES.

Es un elemento de concreto presforzado que puede fabricarse en peralte constante o en peralte variable y que presenta un aspecto muy agradable a la vista.

Puede fabricarse en planta o bien, colarse directamente en la obra, este último, cuando se trata de puentes de grandes claros, suele procederse a colar las dovelas simultáneamente en ambas en ambos extremos en voladizo con respecto a la pila, generalmente se utilizan moldes de metal aunque se tienen ciertas secciones tipificadas. Entre las ventajas principales de estos elementos, podemos citar su ligereza, volumen total de concreto, dado la eficiencia de la sección y su buena capacidad para resistir las torsiones provocadas por la asimetría en la aplicación de la carga viva.



**Figura 14. Montaje estructural trabe cajón con aletas**

En el caso de esta pieza al utilizar el procedimiento constructivo en doble voladizo se elimina la cimbra, se aplica en la construcción de puentes carreteras y de pasos peatonales, debido a su gran capacidad de carga.



**Figura 15. Trabe Universidad De Nebraska**

**ELEMENTO:** TRABES UNIVERSIDAD DE NEBRASKA "UN".

**SECCION:** SIMPLE.

**USO:** PUENTES.

Los diseñadores han experimentado las limitaciones en el uso de las traves existentes de concreto presforzado en techos continuos.

La serie de traves de la Universidad de Nebraska "UN" se desarrolló recientemente para superar estas limitaciones y para aprovechar los adelantos recientes en presfuerzo de concreto y la tecnología de producción para librar grandes claros.

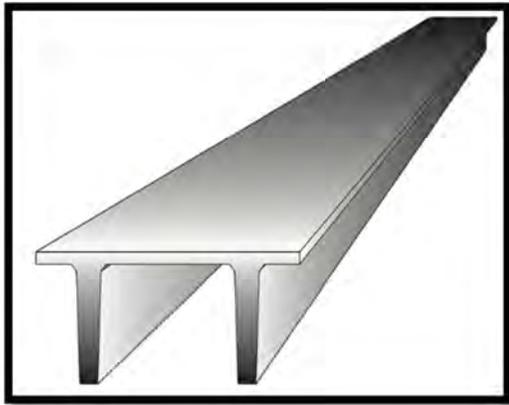
Las traves "UN" se desarrollaron en unidades métricas para el mejor diseño de puentes con continuidad de largo metraje postensados, desempeñándose bien con la continuidad lograda por el refuerzo de acero.

La trabe tiene una gran aleta superior para mejorar la fortaleza del momento negativo en tramos continuos y está diseñada para permitir la colocación de un gran número de torones. Esto es particularmente útil cuando se usa concreto de alta resistencia.

Una alternativa económica en situaciones anteriormente reservadas para la viga estructural de acero.

Las traveses "UN" se utilizan comúnmente en puentes de caminos y pasos a desnivel, salvando vías de ferrocarril, barrancas, ríos etc.

Debido a sus dimensiones se pueden transportar prácticamente a cualquier sitio, una de sus ventajas es el ahorro de tiempo total de ejecución de la obra.



**Figura 16. Losa TT**

**ELEMENTO:** LOSA "TT".

**SECCION:** SIMPLE.

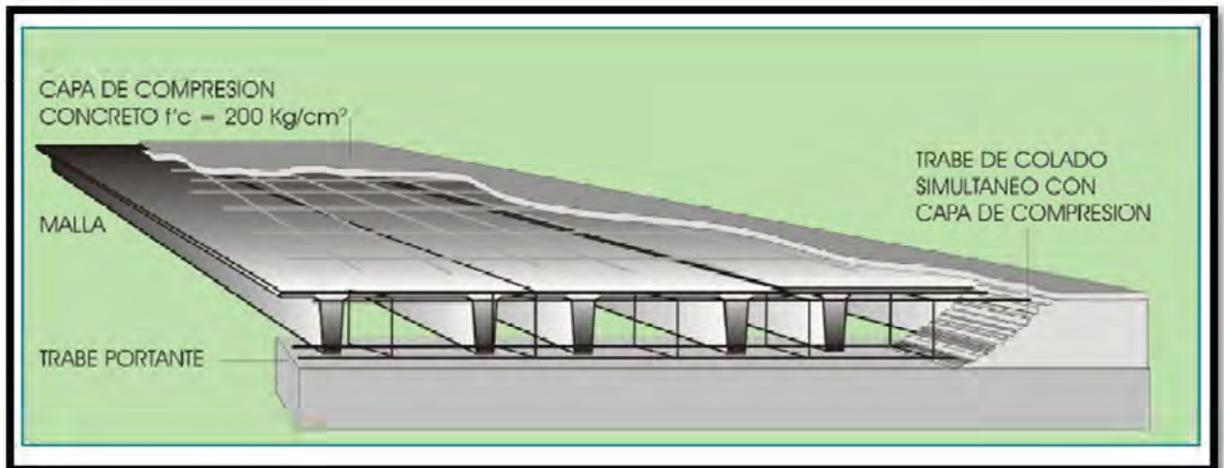
**USO:** ENTREPISOS, TECHOS Y MUROS.

Losas nervadas pretensadas de gran flexibilidad de uso debido a sus características geométricas que le permiten salvar grandes claros con diversas capacidades de carga.

Las losas "TT" se utilizan como sistemas de entrepisos, techos y muros, para la edificación de edificios industriales, comerciales, habitacionales, centros deportivos, escuelas, etc.

Se fabrican en diferentes peraltes con anchos de patín de 250 y 300 cm, y longitudes de acuerdo al requerimiento de su proyecto.

Las losas "TT" se fabrican en moldes metálicos bajo el más estricto control de calidad.



**Figura 17. Montaje estructural con losa TT y travesaños de apoyo**



**Figura 18. Losa TT de peralte variable**

**ELEMENTO:** LOSA "TT" DE PERALTE VARIABLE.

**SECCION:** SIMPLE.

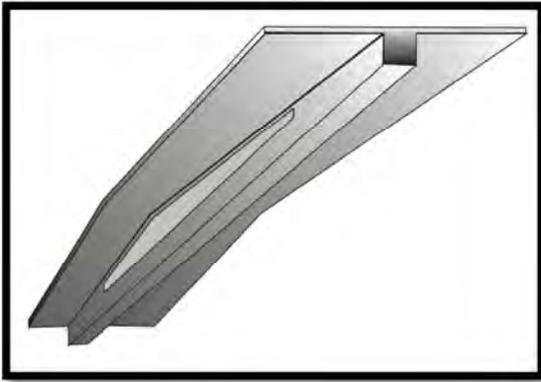
**USO:** CUBIERTAS.

Las TT de peralte variable son elementos estructurales de concreto presfuerzo pretensado, que dado que la losa superior pendiente a dos aguas, se produce el escurrimiento de aguas pluviales de manera natural, esto es, sin necesidad de rellenos para provocar pendientes, ni de colocar los apoyos a diferentes niveles. En las aletas llevan unos accesorios metálicos que funcionan como conectores sísmicos, para lograr el efecto de diafragma.

Su forma racional, que tiende a seguir en forma aproximada el diafragma de los momentos flexionantes (máximo en el centro del claro y nulo en los apoyos) de

cómo resultado piezas con menor volumen de concreto, que tiene menor peso y que redundan en un beneficio económico.

Las losas TT de peralte variable se emplean ventajosamente como losas de cubierta de naves industriales, centros comerciales, gimnasios, clínicas, escuelas, etc, y colocadas en posición invertida se han empleado en andenes y andadores de centrales de autobuses, en áreas donde transitan vehículos fácilmente estacionándose en zonas sombreadas y en gasolineras.



**ELEMENTO:** LOSA “TI” DE PERALTE VARIABLE.

**SECCION:** SIMPLE.

**USO:** CUBIERTAS.

**Figura 19. Losa TI de peralte variable**

Es un elemento estructural de concreto presforzado diseñado para salvar claros con capacidad para soportar diversas sobrecargas.

Por sus características de utilización, la sección “TT” le permite una gran libertad de diseño de sus obras.

La sección “TI” se utiliza comúnmente en, cubiertas industriales con claros de hasta 32 mts.

La sección “TI” se fabrica en moldes metálicos que pueden ser o no autopresforzantes, se curan a vapor, por lo que permite ciclos de colado diario, en beneficio de un incremento en la productividad.

Estas piezas se fabrican en diferentes anchos hasta 3 mts y tanto su peralte como su longitud pueden variar de acuerdo a sus requerimientos.

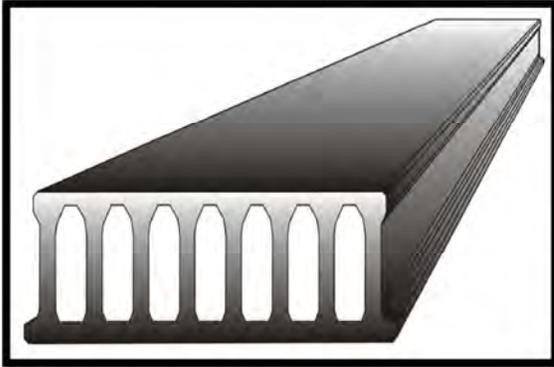
En la elaboración de la sección “TI” se emplean los siguientes materiales, bajo el más estricto control de calidad.

Concreto  $F'c = \text{Kg/cm}^2$

Acero de refuerzo  $Fy = 4000 \text{ Kg/cm}^2$

Acero de presfuerzo  $FSU = 18900 \text{ Kg/cm}^2$

Generalmente se cuenta con equipo y personal especializado para realizar el transporte y montaje de los elementos.



**Figura 20. Losa extruida**

**ELEMENTO:** LOSA EXTRUIDA.

**SECCION:** COMPUESTA.

**USO:** CUBIERTAS, ENTREPISOS, MUROS DE CARGA Y DE FACHADA.

Un elemento de concreto prefabricado de sección rectangular y aligerada por medio de ductos de muy variadas características, formados sin necesidad de ninguna camisa o recubrimiento especial, generalmente en sus costados el perfil de las piezas permite el colado de juntas o claves de cortante.

Estas piezas se pueden fabricar en diferentes anchos, peraltes y longitudes según lo requiera el proyecto.

Es un elemento ideal para grandes cargas y claros mayores.

Generalmente se aplican en edificios de oficinas, hospitales, escuelas, gimnasios, centros comerciales y en viviendas de todo tipo, entre sus ventajas se encuentra la ligereza de los elementos, muy buenas características de aislamiento térmico y acústico, facilidad para el enductado de instalaciones eléctricas e hidráulicas.

Por su proceso de fabricación y una alta productividad, ya que se tienen ciclos de colado de 24 hrs.

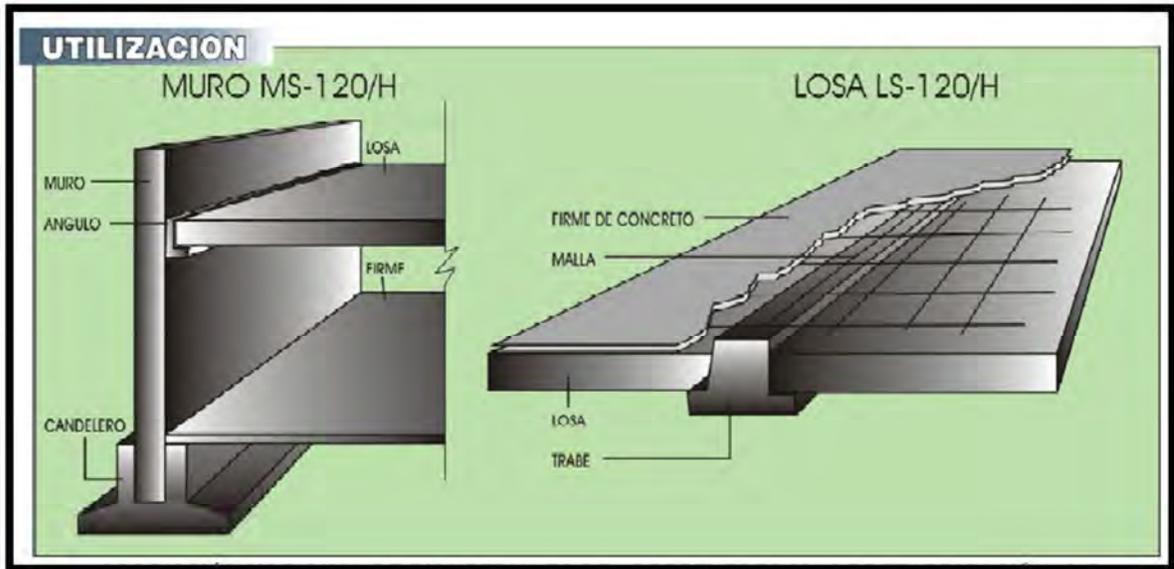


Figura 21. Sistema estructural y método de empleo

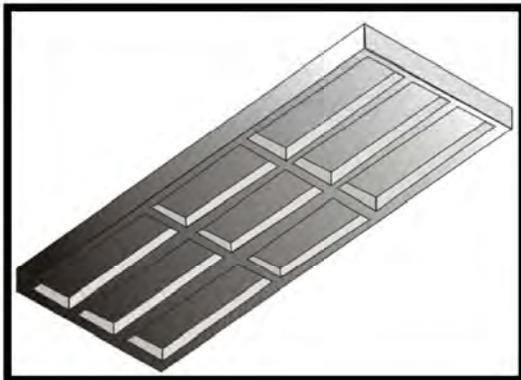


Figura 22. Losa múltiple nervada

**ELEMENTO:** LOSA MULTIPLE NERVADA.

**SECCIÓN:** SIMPLE.

**USO:** ENTREPISOS Y CUBIERTAS.

Es un elemento presforzado pretensado que tiene varios nervios dependiendo de su ancho.

Estas piezas se pueden fabricar en diferentes peraltes, anchos y longitudes, para ajustarse a las necesidades del proyecto.

Se emplean en techos, entrepisos y de claros intermedios, cubriendo una necesidad en la que otros elementos pudieran resultar escasos o demasiado pesados.

Debido a que no utilizan cimbra y sus tiempos de montaje son bastante reducidos, este sistema resulta bastante versátil a otros sistemas de construcción.



**ELEMENTO:** PRELOSAS.

**SECCIÓN:** COMPUESTA.

**USO:** CUBIERTAS.

**Figura 23. Prelosas**

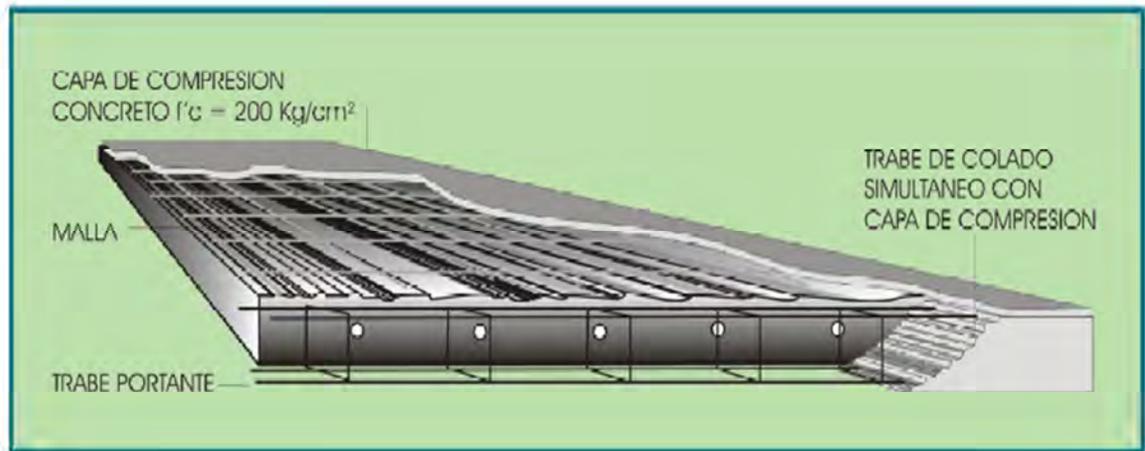
La prelosa es una placa de concreto presforzada pretensado, que coloca sobre la estructura cubriendo el área deseada, y sobre la que se cuele un firme para integrar el peralte total de la losa para que trabaje como sección compuesta.

La prelosa se fabrica en un espesor estándar de 5.4 cm en un ancho máximo de 6.00 mts (de acuerdo a requerimientos de proyecto). Requiere un firme de 4.6 cm de espesor colado en obra.

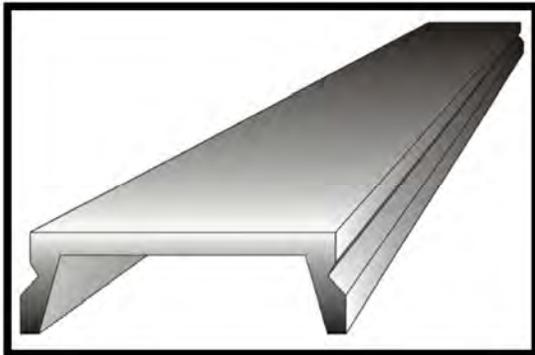
El acabado en la cara superior de la prelosa se deja rugoso para asegurar una junta perfecta entre el concreto prefabricado y el concreto colocado en sitio.

Su uso le brinda las siguientes ventajas: eliminación de cimbras, rapidez de construcción, ya que en una sola operación se monta la losa de un cuarto y no requiere falso plafón.

Se utiliza comúnmente en unidades habitacionales de interés social, escuelas, etc.



**Figura 24. Sistema estructural de prelosa**



**Figura 25. Losa canal**

**ELEMENTO:** LOSA CANAL.

**SECCIÓN:** COMPUESTA.

**USO:** LOSAS, CUBIERTAS Y ENTREPISOS.

El sistema de losas canal está constituido por los elementos portantes de concreto presforzado que ocupa un lugar de preferencia por la serie de ventajas que su uso representa y al ser elementos repetitivos en su geometría en su geometría, facilitan los procesos.

La producción industrializada bajo rígidos controles de calidad asegura que el producto cumple con los requerimientos de diseño dado; por ello se obtiene un buen comportamiento estructural.

El diseño de los elementos de concreto presforzado asegura que los materiales usados, concreto y acero trabajan en forma óptima con respecto a su aprovechamiento.

Se elimina el lento y costoso proceso de la cimbra, junto con los riesgos y desperdicios que ello representa. No hay tiempos muertos por fraguado de concreto, dando con ello continuidad a los procesos constructivos.

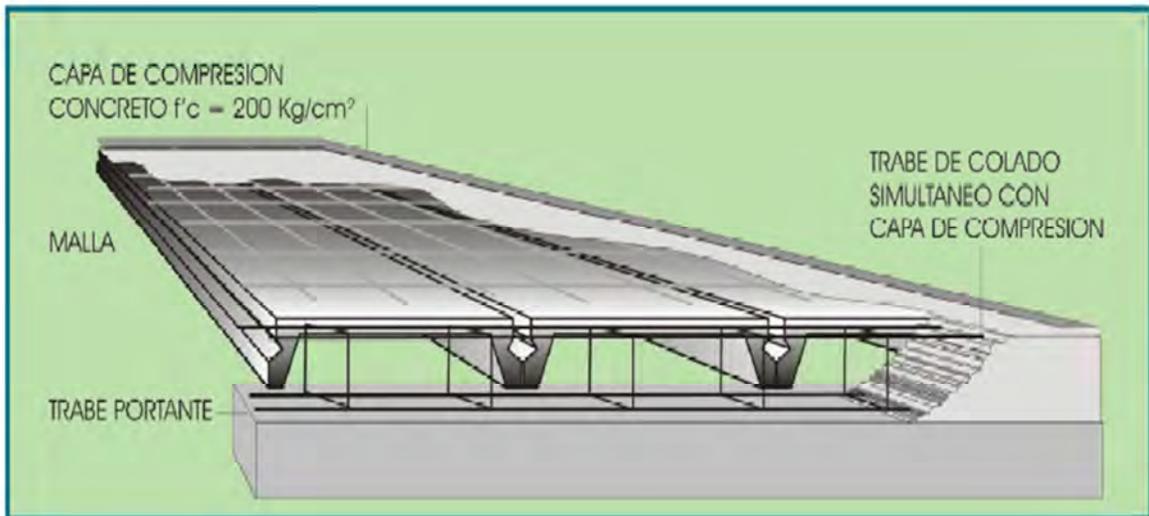


Figura 26. Sistema estructural de losa canal



Figura 27. Losa nervadura T

**ELEMENTO:** LOSA NERVAURADA "T".

**SECCIÓN:** SIMPLE Y COMPUESTA.

**USO:** ENTREPISOS, CUBIERTAS, MUROS DE FACHADAS, PASOS PEATONALES, ETCETERA.

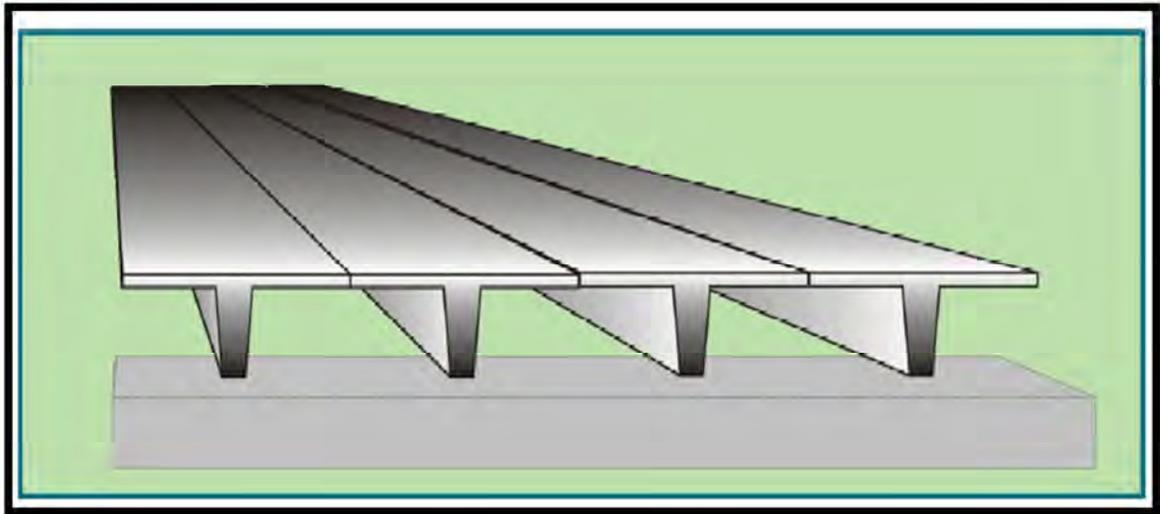
Es un elemento estructural de concreto diseñado para salvar claros con capacidad para soportar diversas sobrecargas.

Por sus características de utilización, las losas nervaduras “T” permiten una gran libertad en el diseño de sus obras.

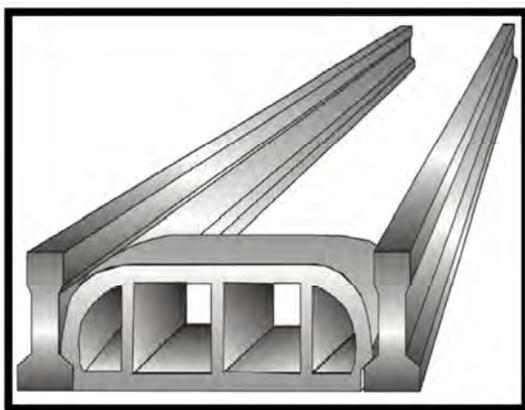
La sección “T” utiliza comúnmente en sistemas de entrepisos, cubiertas industriales, puentes, muros de fachadas, etc.

La sección “T” se fabrica en molde metálico, por lo que permite ciclos de colado diario, en beneficio de un incremento en la productividad. Un amplio control de calidad asegura que el producto cumple con los requerimientos de diseño dado, obtiene una amplia garantía estructural.

El diseño de los elementos de concreto presforzado, asegura que los materiales usados, concreto y acero trabajan en forma óptima respecto a su objetivo.



**Figura 28. Armado estructural losa nervadura T**



**Figura 29. Viguetas y bovedillas**

**ELEMENTO:** VIGUETAS Y BOVEDILLAS

**SECCIÓN:** COMPUESTA.

**USO:** LOSAS, CUBIERTAS Y ENTREPISOS.

El sistema de vigueta y bovedilla está constituido por los elementos portantes que son las viguetas de concreto presforzado y las bovedillas como elementos aligerantes. Las viguetas se producen en diferentes tamaños (sección geométrica) y diferentes armados así mismo las bovedillas tienen diferentes secciones tanto en longitud, ancho y peralte, de tal forma que se tiene una gran variedad de combinaciones que pueden satisfacer cualquier necesidad. Podemos asegurar que hasta 6.00 mts. De claro es el sistema más económico de losas.

Las viguetas se fabrican por diferentes procesos que pueden ser, cuando en moldes múltiples de metal y con máquinas extrusoras.

Las bovedillas se producen usando maquinas vibrocompactadoras en donde se intercambian los moldes para los diferentes tipos de secciones, usando por lo general materiales ligeros.

Aunque inicialmente se concibió este sistema para su aplicación en las viviendas, en la realidad se ha aplicado en casi todo tipo de losas y entrepisos, debido a su bajo peso, estos elementos permiten que se efectúe su montaje manualmente, eliminando el costo de equipos pesados. Existen tipos de viguetas con conectores para anclar la malla a este sistema lo que permite tener la capacidad necesaria para tomar los esfuerzos rasantes por viento o por sismo. Así mismo actualmente se fabrican viguetas sísmicas, que tienen un relieve en la parte superior de las setas formando una llave mecánica que permite un mejor trabajo junto con la losa (capa) de compresión.

A continuación se muestran las características de los elementos y sistemas.

La recomendación es que la relación máxima de claro a peralte de losa no sea mayor a  $l/h = 25$  con bovedillas de cemento arena y usando bovedillas de poliestireno  $l/h = 20$ , y siempre que sea posible hasta trabajar a estos sistemas continuos (colinealidad en las viguetas) y armado para tomar el momento en la continuidad (negativo).

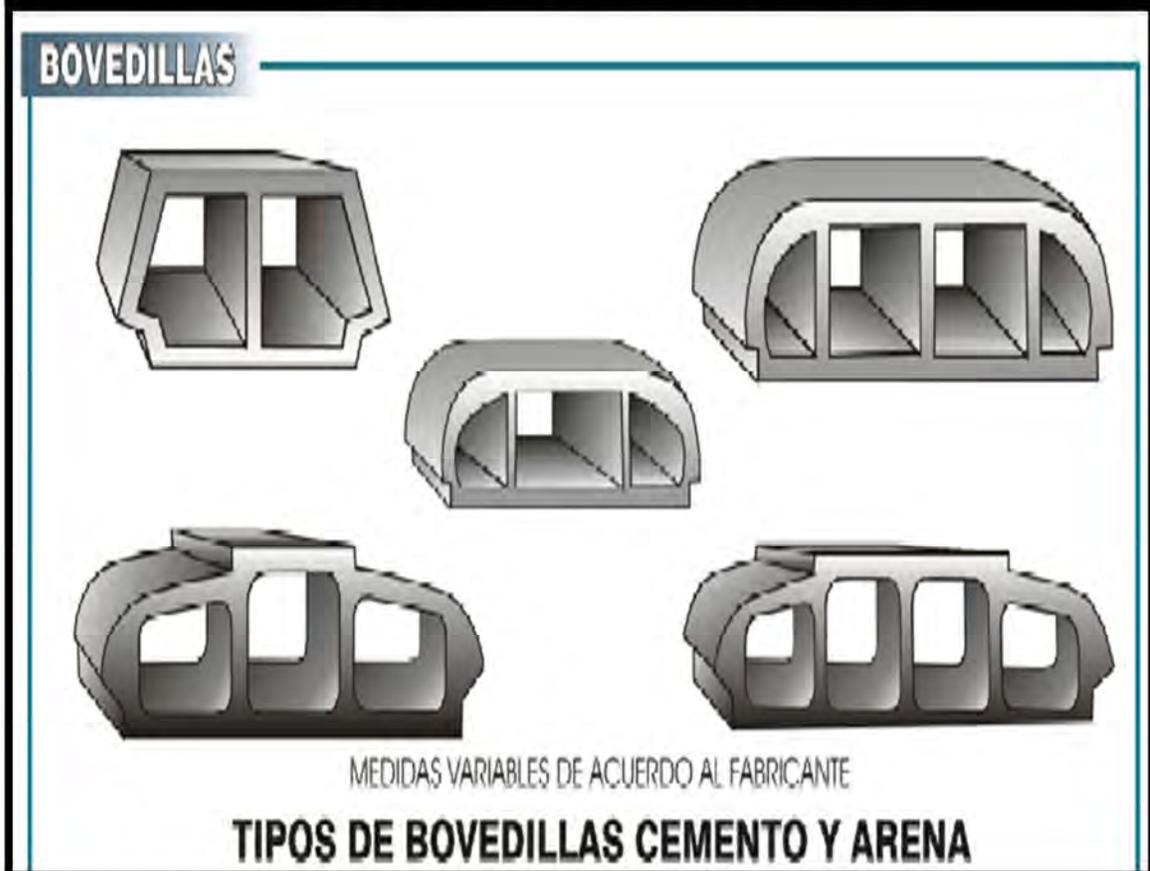


Figura 30. Tipos y formas de viguetas y bovedillas



**Figura 31. Premexcimbra**

**ELEMENTO:** PREMEXCIMBRA.

**SECCIÓN:** COMPUESTA.

**USO:** LOSASS, CUBIERTAS Y ENTREPISOS.

La losa nervada PREMEX CIMBRA es un sistema a base de viguetas pretensadas que forman las nervaduras unidireccionales a cada 75 cm de interjeos, entre estas se monta en sitio la cimbra autoportante de fibra de vidrio.

Posteriormente se tiende y se fija la malla electrosoldada para proceder a colar la losa de compresión de concreto y a las 24 horas se retira la cimbra, quedando formada la losa nervada.

Es de fácil montaje y no requiere de mano de obra especializada, aligera la construcción al cimbrar la bovedilla o casetón reduciendo las fuerzas sísmicas.

La losa al trabajar como diafragma en el efecto sísmico, es mucho más rígida debido a los elementos nervados.

Reducción de la cimbra de contacto y apuntalamiento en un 100% abate tiempos y costos. Por su menor peso, permite reducir secciones de la estructura. (Acero y concreto).

Para uso en viviendas, oficinas, escuelas, edificios, departamentos, cines, centros comerciales, estacionamientos hoteles y en todo tipo de construcción en general.

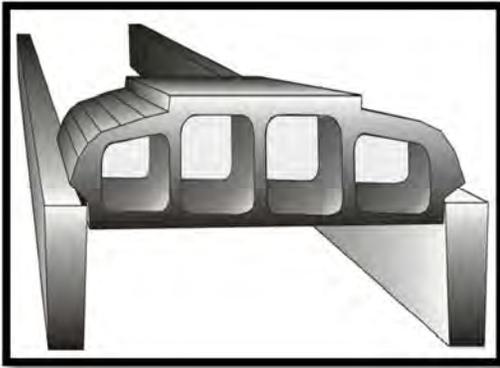


Figura 32. Losa con viga cuña

**ELEMENTO:** LOSA CON VIGA CUÑA.

**SECCIÓN:** COMPUESTA.

**USO:** LOSAS, CUBIERTAS Y ENTREPISOS.

El sistema de viga cuña y bovedilla está constituida por los elementos portantes que son las vigas de concreto presforzado y las bovedillas como elementos aligerantes. Las vigas se producen en diferentes tamaños (sección geométrica) y diferentes armados, así mismo las bovedillas tienen diferentes secciones tanto en longitud, ancho y peralte, de tal forma que se tiene una gran variedad de combinaciones que pueden satisfacer cualquier necesidad.

Las bovedillas se producen usando maquinas vibrocompresoras en donde se intercambian los moldes para los diferentes tipos de secciones usando por lo general materiales ligeros.

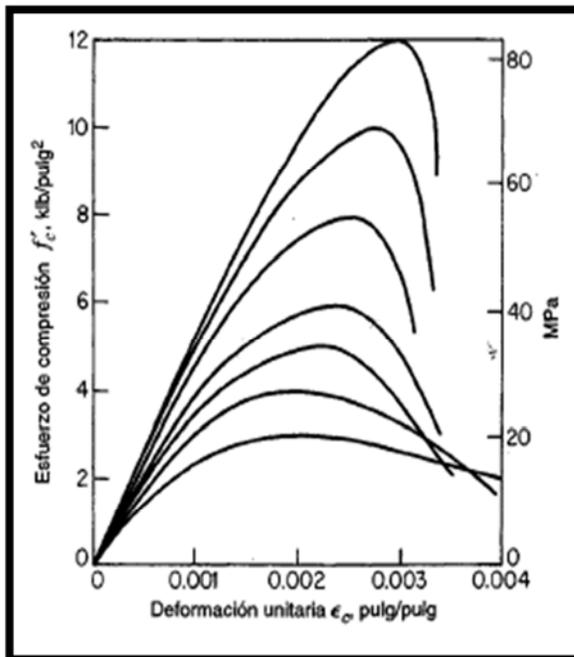


Figura 33. Curvas de deformación unitaria respecto a Esfuerzos de compresión

Aunque inicialmente se concibió este sistema para su aplicación en las viviendas, en la realidad se ha aplicado en casi todo tipo de losas y entrepiso, debido a su bajo peso, estos elementos permiten que se efectúe su montaje manualmente, eliminando el costo de equipos pesados.

## 2.5 PROPIEDADES DE COMPRESION.

El comportamiento de una estructura bajo carga depende en alto grado de las relaciones esfuerzo-

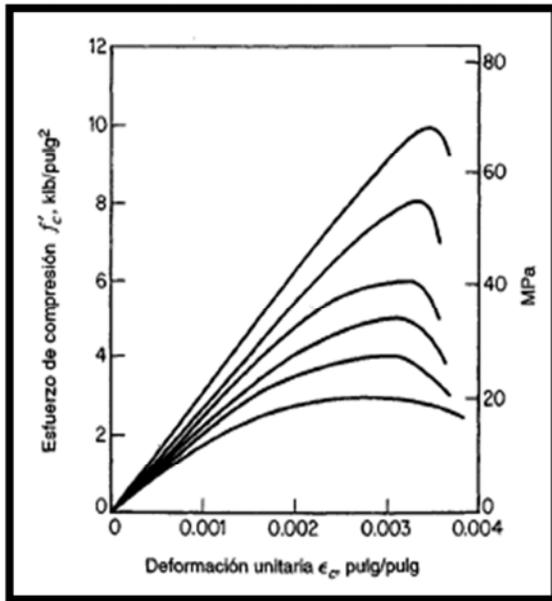
deformación del material con el cual está construida, para el tipo de esfuerzo al que está sometido el material dentro de la estructura. Debido a que el concreto se utiliza principalmente en compresión, resulta de interés fundamental su curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión. Esta curva se obtiene mediante mediciones apropiadas de la deformación unitaria en ensayos de cilindros o en la zona de compresión de vigas.

La figura (33) muestra un conjunto típico de estas curvas para concreto de densidad normal y de 28 día de edad, obtenidas a partir de ensayos de compresión uniaxial realizados con velocidades de cargas normales y moderadas. La figura (34) muestra las curvas correspondientes para concretos livianos con densidades de  $1600 \text{ kg/m}^3$ .

Todas las curvas tienen características similares. Todas tienen una porción inicial relativamente elástica y lineal en el cual el esfuerzo y la deformación unitaria son proporcionales, luego comienzan a inclinarse hacia la horizontal alcanzando el esfuerzo máximo, o sea la resistencia a la compresión para una deformación unitaria que varía aproximadamente entre 0.002 a 0.003, para concretos de densidad normal, y entre aproximadamente 0.003 y 0.0035 para concretos livianos, donde los mayores valores en cada caso corresponden a las mayores resistencias.

Todas las curvas muestran un tramo descendente después de que se ha alcanzado el esfuerzo pico; sin embargo, las características de las curvas después del esfuerzo pico dependen en alto grado del método de ensayo. Si se siguen procedimientos especiales en el ensayo para asegurar una tasa de deformación constante mientras que la resistencia del cilindro disminuye, pueden obtenerse largos tramos descendentes y estables.

Ante la ausencia de tales dispositivos especiales, la descarga puede llegar a ser muy rápida una vez pasado el punto de esfuerzo pico, en particular para los concreto de mayor resistencia, que son generalmente más frágiles que los de baja resistencia.



**Figura 34. Curvas de deformación unitaria respecto a Esfuerzos de compresión en concretos livianos**

### 2.5.1 CARGAS DE CORTA DURACIÓN.

En la práctica actual la resistencia a la compresión especificada  $f'_c$  para concretos de densidad normal fundidos en el sitio esta comúnmente en el rango de 3000 a 5000 lb/pulg<sup>2</sup> y puede llegar hasta aproximadamente 6000 lb/pulg<sup>2</sup> para elementos de concreto prefabricados y presforzados.

Las resistencias para concretos livianos están generalmente por debajo de estos valores. Los concretos de alta resistencia, con valores de  $f'_c$  de hasta 12,000 lb/pulg<sup>2</sup> se utilizan cada vez con mayor frecuencia en particular para columnas muy cargadas en edificios de concreto de gran altura y en puentes de largos claros (la mayoría presforzados), donde puede lograrse una reducción significativa en la carga muerta mediante la minimización de las secciones transversales de los elementos.

El módulo de elasticidad  $E'_c$  (lb/pulg<sup>2</sup>), es decir la pendiente del tramo recto inicial de la curva esfuerzo-deformación unitaria, aumenta con la resistencia del concreto. Para concretos con resistencias de aproximadamente 6000 lb/pulg<sup>2</sup>.

La información relativa a las propiedades de resistencia del concreto, se obtiene usualmente mediante ensayos realizados sobre muestras de 28 días de edad. Sin embargo, el cemento continua su hidratación y por tanto su endurecimiento, durante mucho tiempo a una tasa cada vez menor.

Al igual que otros materiales el concreto se comprime en una dirección se expande en la dirección transversal a aquella de la aplicación del esfuerzo.

La relación entre deformación unitaria transversal y la longitudinal se conoce como *relación de Poisson* y depende de la resistencia, de la composición y de otros

factores. Para esfuerzo menores a aproximadamente  $0.7 f'c$ , la relación de Poisson para el concreto está entre 0.15 y 0.20.

### **2.5.2 CARGAS ACTUANTES A LARGO PLAZO.**

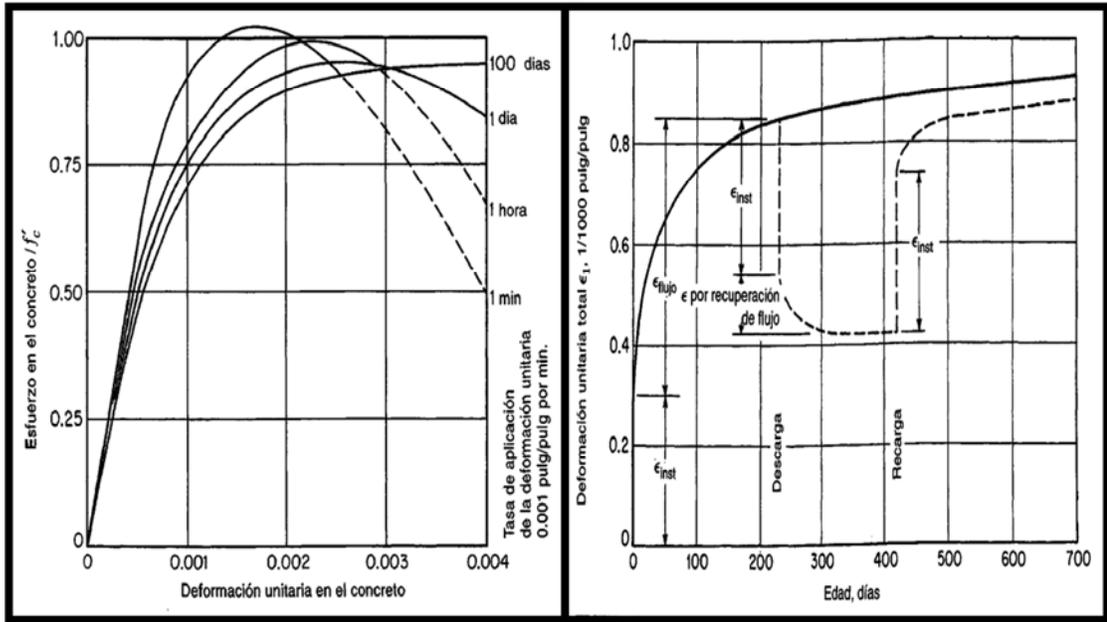
Para algunos materiales de ingeniería, el acero, la resistencia y las relaciones esfuerzo-deformación unitaria son independientes de la velocidad y de la duración de la carga, por lo menos para los intervalos usuales de cambios de esfuerzos, temperaturas y otras variables, en contraste la fig. (35) ilustra la pronunciada influencia del tiempo, en este caso relacionado con la velocidad de aplicación de la carga, sobre el comportamiento del concreto bajo carga.

La principal razón para esto es que el concreto fluye bajo carga, mientras que el acero no presente flujo plástico bajo condiciones prevalecientes en edificios, puentes y construcciones similares.

El *flujo plástico* es la propiedad mediante la cual el material se deforma continuamente en el tiempo cuando está sometido a esfuerzo o carga constante.

La naturaleza del proceso de flujo plástico se presenta esquemáticamente en la siguiente figura (36) este concreto específico fue sometido a carga después de 28 días obteniéndose una deformación unitaria instantánea.

La carga mantuvo por 320 días durante los cuales el flujo plástico aumentó la deformación unitaria total hasta casi tres veces la deformación unitaria instantánea.



**Figura 35. Curvas esfuerzo-deformación unitaria por varias tasas de deformación en compresión concéntrica**

**Figura 36. Curva típica de flujo plástico**

Como ilustración, si el concreto es una columna con  $f'c = 4000 \text{ lb/pulg}^2$  está sometido a una carga que actúa a largo plazo con un esfuerzo sostenido de  $1200 \text{ lb/pulg}^2$ , después de varios años.

Resistencia a la compresión		Flujo plástico específico $\delta_{cu}$		Coeficiente de flujo plástico $C_{cu}$
lb/pulg <sup>2</sup>	MPa	10 <sup>-6</sup> por lb/pulg <sup>2</sup>	10 <sup>-6</sup> por MPa	
3000	21	1.00	145	3.1
4000	28	0.80	116	2.9
6000	41	0.55	80	2.4
8000	55	0.40	58	2.0
10,000	69	0.28	41	1.6

**Tabla 1. Parámetros típicos de flujo plástico**

Las cargas sostenidas afectan no solo la deformación unitaria sino también la resistencia del concreto, la resistencia de cilindros  $f'c$  se determina mediante ensayos con velocidades de aplicación de la carga normales.

Ensayos realizados por Rüsç en la universidad de Cornell han demostrado que para prismas y cilindros de concreto no reforzado, sometidos a cargas concéntricas, la resistencia bajo carga sostenida es significativamente menor que  $f'c$  en el orden de 75 a 85 % de  $f'c$ , para cargas que se mantienen por un año o más.

De esta manera, un elemento sometido a una sobrecarga sostenida que causa esfuerzos de compresión de por ejemplo el 65 % de  $f'c$  puede fallar después de cierto tiempo aunque la carga no se haya aumentado.

### 2.5.3 FATIGA.

El concreto al igual que otros materiales exhibe una resistencia a la fatiga, la resistencia se define como la capacidad del material para soportar un cierto número de repeticiones de carga, con niveles de esfuerzo menores a la resistencia última del material. Esta propiedad se ha estudiado ensayando especímenes tanto a compresión como a flexión. La Figura (37) ilustra el comportamiento a la fatiga de vigas probadas a la flexión, en ella se muestra la correlación que se obtiene entre la relación de esfuerzos ( $r$ ), obtenida de dividir el esfuerzo debido a la carga aplicada entre el módulo de ruptura (resistencia última) y el número de ciclos de carga ( $n$ ) que soporta el material.

Cuando el concreto esta sometido a cargas fluctuantes en lugar de cargas sostenidas, su resistencia a la fatiga, al igual que para otros materiales, considerablemente menor que su resistencia estatica.

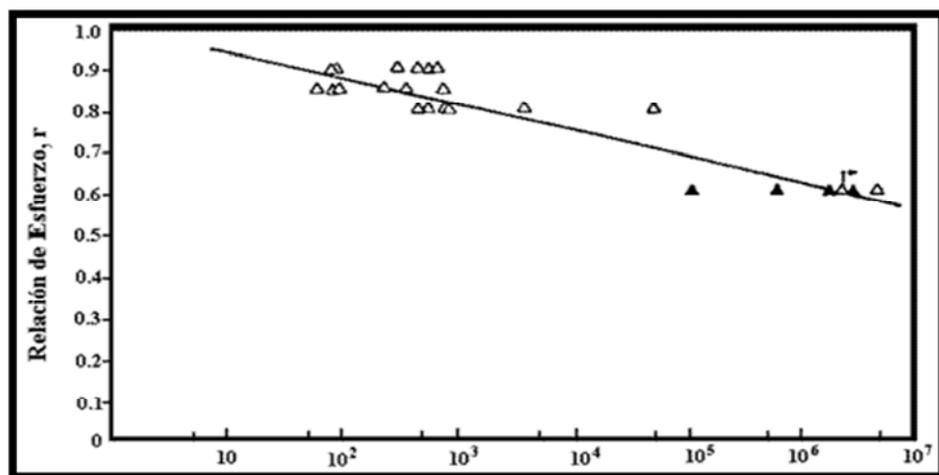


Figura 37. Gráfico límite de fatiga del concreto

Cuando en concretos simples se introducen esfuerzos ciclicos de compresion variando desde cero hasta el maximo esfuerzo, el limite de fatiga esta entre el 50 y el 60 % de la resistencia a la compresion estatica, para 2.000.000 de ciclo.

Para otros rangos de esfuerzos pueden realizarse estimativos razonables utilizando los diagramas modificados de Goodman. Para otros tipos de esfuerzos aplicados, tales como esfuerzo de compresion por flexion en vigas de concreto reforzado o tension por flexion en vigas no reforzadas, el limite de fatiga parece ser aproximadamente el 55 % de la resistencia estatica correspondiente.

Sin embargo, estos datos deber usarse unicamente como guias generales. Se sabe que la resistencia a la fatiga del concreto no solamente depende de su resistencia estatica sino tambien de las condiciones de humedad, de la edad y de la velocidad de aplicaci3n de la carga.

## **2.6 BARRAS DE REFUERZO.**

El tipo m1s com1n de acero (distingui3ndolo de los aceros de presfuerzo) viene en forma de barras circulares llamadas por lo general varillas y disponibles en un amplio intervalo de di1metro aproximadamente de 2/8 hasta 1 3/8 de pulgada para aplicaciones normales y en dos tama1os de barra pesados de aproximadamente 1 3/4 y 2 1/4 de pulgada.

Estas barras vienen corrugadas para aumentar la resistencia al deslizamiento entre el acero y el concreto. Los requisitos m1nimos para los resaltes superficiales (espaciamiento, proyecci3n, etc.) se han determinado mediante los cuales satisfacen los requisitos. La fig., (38) muestra los distintos tipos de barras corrugadas:



Figura 38. Diámetros comunes de acero de refuerzo

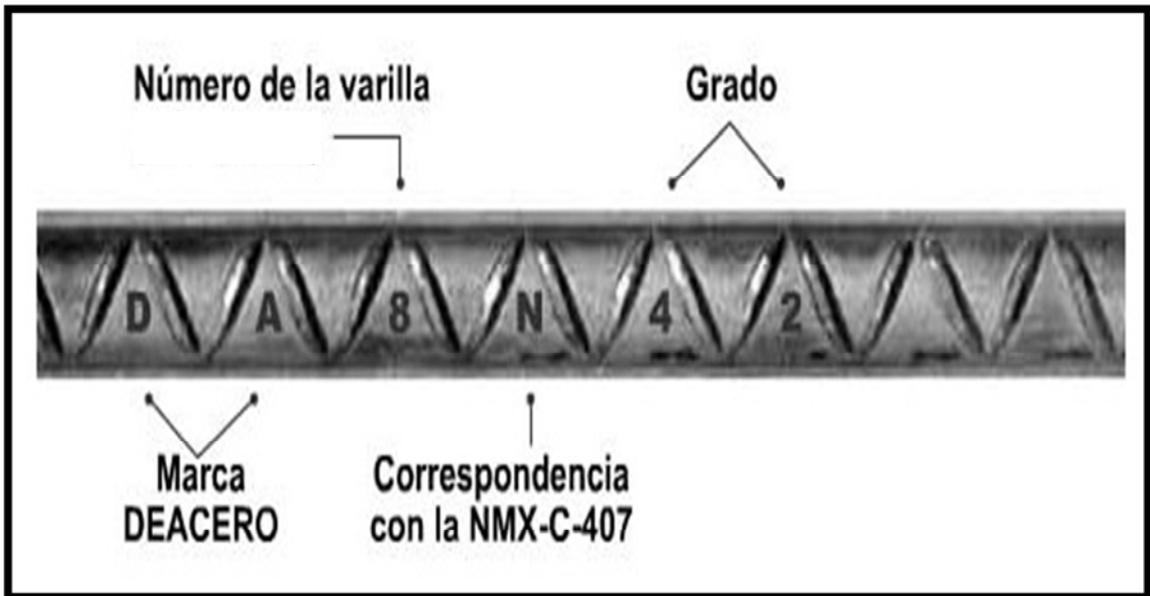


Figura 39. Nomenclatura de las barras de refuerzo

RESUMEN DE REQUISITOS MINIMOS DE RESISTENCIA DE LA " ASTM "						
PRODUCTO	ESPECIFICACIÓN ASMT	GRADO O TIPO	Resistencia mínima a la fuerza		Resistencia Máxima a la tensión	
			klb/pl <sup>2</sup>	Mpa	klb/pl <sup>2</sup>	Mpa
Barras de Refuerzo	A615	Grado 40	40,000	(275)	70,000	(480)
		Grado 60	60,000	(415)	60,000	(620)
		Grado 75	75,000	(515)	100,000	(690)
	A616	Grado 30	30,000	(345)	80,000	(550)
		Grado 60	60,000	(415)	90,000	(620)
	A617	Grado 40	40,000	(275)	70,000	(480)
		Grado 60	60,000	(415)	90,000	(620)
	A706	Grado 60	60,000	(414)	80,000	(550)
			[78,000	(535)		
			Máximo]			
Parrilla de barras corrugadas	A184	Igual que para barras de refuerzo				
Barras recubiertas con zinc	A767	Igual que para barras de refuerzo				
Barras recubiertas con epóxico	A775	Igual que para barras de refuerzo				
Alambre liso Corrugado	A82		70,000	(480)	80,000	(550)
	A496		75,000	(515)	85,000	(585)
Malla electrosoldada de alambroliso W1,2 y mayor menor que W1.2	A185		65,000	(450)	75,000	(515)
			36,000	(385)	70,000	(480)
	Corrugado	A497		70,000	(480)	80,000
Tendones de presfuerzo Torón de siete alambres	A416	Grado 250 (libres de esfuerzos residuales)	212,500	(1465)	250,000	(1725)
		Grado 250 (baja relajación)	225,500	(1555)	250,000	(1725)
		Grado 270  (libres de esfuerzos residuales)	229,500	(1580)	270,000	(1860)
		Grado 270 (baja relajación)	243,500	(1675)	270,000	(1860)
Alambre	A421	Libres de esfuerzos residuales	199,750	(1375) a	235,000	(1620) a
		Baja relajación	212,500	(1465)´	250,000	(1725)´
Barras	A722	Tipo Liso	127,500	(880)	150,000	(1035)
		Tipo corrugado	225,000	(825)	150,000	(1035)
Torón compacto	A779	Tipo 245	241,900	(1480)	247,000	(1700)
		Tipo 260	228,800	(1575)	263,000	(1810)
		Tipo 270	234,900	(1620)	270,000	(1860)
* Pero no menos de 1,25 veces la resistencia de frecuencia real						
* la resistencia minima depende del tamaño del alambre				* No incluido en el ACI		

Figura 40. Requisitos mínimos de resistencia de la ASTM

Los aceros de presfuerzo se utilizan en tres formas diferentes; alambrones de sección circular, torones y barras de acero aleado. Los alambrones para presfuerzo varían en diámetros desde 0.192 hasta 0.276 pulgadas; se fabrican mediante extrusión en frío de aceros con alto

## 2.7 ACEROS DE PRESFUERZO.

Los aceros de presfuerzo se utilizan en tres formas diferentes: Alambrones de sección circular, torones y barras de acero aleado, los alambrones para presfuerzo varían en diámetros desde 0.192 hasta 0.276 pulgadas; se fabrican mediante extrusión en frío de aceros con alto contenido de carbón, después de lo cual el alambren se somete a un proceso de revenido en caliente para producir las propiedades mecánicas prescritas.



Figura 41. Cable de presfuerzo

Los alambrones se entrelazan en grupos de hasta aproximadamente 50 alambrones individuales para producir los tendones de presfuerzo con la resistencia exigida.

Los torones, más comunes que los alambrones en la práctica de los estados Unidos, se fabrican usando seis alambrones enrollados alrededor de séptimo cuyo diámetro es ligeramente mayor; el paso de la vuelta de la espiral está entre 12 y 16 veces el diámetro nominal del torón.

Los diámetros de los torones varían desde 0.25 hasta 0.6 pulgadas. Las barras de acero aleado para presfuerzo están disponibles en diámetros desde 0.75 hasta 1.375 pulgadas, usualmente como barras lisas circulares.

Se pueden encontrar requisitos especiales para aceros de presfuerzo en la norma ASTM A421 "Standard specification for Uncoated Stress-Relieved Steel Wire for Prestressed Concrete", en la norma ASTM416, "Standard specification for Steel

Strand, Uncoated Seven-Wire Stress-Relieved for Prestressed Concrete” y en la norma ASTM722 “standard specification for Uncoated high-Strength Steel Bar for Prestressing Concrete”.

## **2.8 VENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO.**

### **El concreto pretensado tiene los siguientes méritos:**

- La técnica del pretensado elimina grietas del concreto en todas las zonas de carga, toda la sección de la estructura de toma parte de la resistencia a la carga externa. En contraste con esto, en el concreto armado, tiene una mayor funcionalidad respecto a las cargas.
- Como el concreto no se agrieta, la posibilidad del acero a la corrosión y el deterioro de concreto se reduce al mínimo.
- Ausencia de grietas resulta en una mayor capacidad de la estructura para soportar la carga de esfuerzos, impactos, vibraciones y golpes.
- En vigas de concreto pretensado, las cargas muertas son prácticamente neutralizados. Las reacciones se requieren por lo tanto mucho más pequeñas que la requerida en concreto armado. El peso muerto de la carga reducida de la estructura da resultados en el ahorro en los costos de las cimentaciones. La neutralización de la carga muerta es de importancia en los grandes puentes.
- El uso de los tendones y la curva antes de la compresión del concreto ayuda a aumentar la resistencia al corte.
- La cantidad de acero necesario para pretensado aproximadamente 1 / 3 de la requerida para el concreto armado, aunque el acero para el pretensado debe ser de alta resistencia.
- En concreto pretensado, bloques prefabricados y elementos pueden aceptarse y utilizarse como una unidad. Esto ahorra en el costo de encofrado y el centrado de grandes estructuras.
- Con la llegada del concreto pretensado, ha sido posible ahora la construcción de grandes luces. Estas estructuras tienen bajo costo y están salvo de grietas, problemas estéticos y de diseño.
- El concreto pretensado se puede utilizar con mucha ventaja en todas las estructuras donde la tensión se desarrolla, como viga de puentes, edificios, estadios, distribuidores viales, cimentaciones profundas, presas etcétera.
- Las vigas de concreto pretensado la desviación de carga suele ser baja.
- Se tiene una mejoría del comportamiento bajo la carga de servicio por el control del agrietamiento y la deflexión

- Permite la utilización de materiales de alta resistencia
- Elementos más eficientes y esbeltos, menos material
- Mayor control de calidad en elementos pretensados (producción en serie). Siempre se tendrá un control de calidad mayor en una planta ya que se trabaja con más orden y los trabajadores están más controlados
- Mayor rapidez en elementos pretensados. El fabricar muchos elementos con las mismas dimensiones permite tener mayor rapidez.

## **2.9 DESVENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO.**

**En la construcción de concreto pretensado se presentan las siguientes desventajas:**

- Se requiere alta calidad de concreto denso de alta resistencia. calidad del concreto perfecto en la producción, colocación y compactación específicas con alto control de calidad.
- Se requiere de acero de alta resistencia, que es de 2.5 a 3.5 veces más costoso que el acero de refuerzo común.
- Se requiere complicados procesos de tensión, equipos y dispositivos de anclaje, que suelen ser cubiertos por los derechos patentados, y que aumentan el costo de los elementos estructurales.
- La construcción requiere supervisión perfecta en todas las etapas de la construcción, con altos estándares de calidad.
- Se requiere transporte y montaje para elementos pretensados. Esto puede ser desfavorable según la distancia a la que se encuentre la obra de la planta.

- Mayor inversión inicial
- Diseño más complejo y especializado (juntas, conexiones, etc)
- Planeación cuidadosa del proceso constructivo, sobre todo en etapas de montaje.
- Detalles en conexiones, uniones y apoyos.

## 2.10 APLICACIONES.

El objetivo integral de este trabajo es entender y explicar los elementos y conceptos que describen a los llamados “presforzados”, ya que actualmente y desde hace ya varios años tanto nacional como internacionalmente estos elementos son utilizados en pro de las construcciones gracias a su rápida solución y grandes aplicaciones además claro de su fructífera innovación con el paso del tiempo y la fácil ejecución además de la inversión monetaria.

El concreto presforzado es importante especialmente en súper estructuras que puede que cuesten un poco más de lo normal pero pueden brindar mayor seguridad en la estructura.

Los ejemplos de la aplicación del concreto presforzado son:

ELEMENTO	FUNCIÓN
<b>En traves, losas y columnas.</b>	Para resistir flexiones y cortantes.
<b>1.-Puentes contruidos por voladizos.</b>	Para rigidizar la fase ya construida y para resistir las flexiones y cortantes durante el empujado y el servicio.
<b>2.-Puentes empujados.</b>	Para unir dovelas entre si y para resistir las flexiones y cortantes durante el empujado y en servicio.
<b>3.-Puentes por dovelas prefabricadas.</b>	Para unir dovelas entre si y para tomar flexiones y cortantes en servicio.
<b>4.-Puentes y otras estructuras atirantadas.</b>	Para soportar el peso de la superestructura y resistir sus flexiones

	y cortante.
<b>5.-Anclajes al terreno.</b>	Para pre-comprimir una estructura con el terreno y evitar hundimientos y colapsos del mismo.
<b>6.-Silos, tanques y torres.</b>	Para resistir los empujes internos impidiendo fisuras.
<b>7.-Tanques de almacenamiento de agua.</b>	Para almacenar y contener agua potable, soportando las cargas y los esfuerzos producidos.
<b>8.-Estadios y Graderías.</b>	Para generar un diseño y soporte para carga viva.
<b>9.-Muros de Retención de tierras.</b>	Para servir como contención en taludes y rellenos.
<b>10.-Túneles en autopistas.</b>	Para fungir como accesos y vías de comunicación.
<b>11.-Metropolitano.</b>	Para servir al transporte y reductor de tráfico.
<b>12.- Cubiertas especiales.</b>	Para cubrir espacios y techar fachadas.
<b>13.- Puentes prefabricados</b>	Para vías de transporte y nexos entre puntos.
<b>14.- Edificios.</b>	Para vivienda, comercio u oficinas.
<b>15.- Naves industriales.</b>	Para uso comercial y de almacenamiento.
<b>16.- Estacionamientos.</b>	Para resolver el problema de aparcamiento de automóviles de acceso a edificios.

**Tabla 2. Ejemplos de aplicaciones del concreto presforzado**

## TRABES, LOSAS Y COLUMNAS

- Son elementos estructurales de concreto presforzado; Ideales para soportar cargas para puentes en claros hasta de 30m.

Su longitud es variable de acuerdo a las necesidades del proyecto.



En plantas se presentan instalaciones fijas para tensado de torones con capacidad de 700 TON. de fuerza presforzante. Las trabes AASHTO pueden ser pretensadas, postensadas o combinadas. Son elementos estructurales de concreto presforzado; Ideales para soportar cargas para puentes en claros hasta de 30m.



Su longitud es variable de acuerdo a las necesidades del proyecto.

- Al igual que las vigas pretensadas, tienen infinidad de uso dentro la construcción de edificios y de vialidad como por ejemplo: Auditorios, centros comerciales, estacionamientos, depósitos, puentes, industrias, etc., o toda aquella construcción de necesite salvar grandes luces.



**Figura 42. Trabes, losas y columnas como elementos presforzados**

## PUENTES

Puente “Bicentenario” Chedraui Caram.  
Xalapa, Veracruz

Este puente presenta la solución vial al desarrollo de tránsito de las Av. Lázaro Cárdenas en la ciudad de Xalapa, el cual ayuda a la agilización del continuo movimiento al ser una de las vías por donde se presenta más conglomeración vehicular, se presentan piezas estructurales de concreto presforzado, con un diseño óptimo y funcional para servir al problema principal, la distribución vehicular.



Figura 43. Puente “Bicentenario”

## TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Tanque de Almacenamiento en Villahermosa, Tabasco.  
(Grupo TICONSA, 1994)

Esta solución fue compuesta de elementos prefabricados de concreto, “tabletas”, los cuales fueron colocados para formar los muros del tanque y posteriormente se postensaron conjuntamente con la cimentación colada en sitio, para de esta manera realizar un trabajo muy similar al desarrollado en un tonel de madera. En el tonel de madera las dovelas de madera forman el mismo, y dos zunchos de acero comprimen los elementos entre sí para no permitir que este se desarme.



Figura 44. Tanque de Almacenamiento

## ESTADIOS Y GRADERÍAS

Gradas del Autódromo Hermanos Rodríguez, México, D.F.  
(Grupo TICONSA, 1997)

La construcción del foro permanente de los Hermanos Rodríguez, proyecto realizado con prefabricados para acortar los tiempos de construcción y de esta manera tener un programa financiero de recuperación reducido, permitió su construcción en un periodo muy corto de tiempo.

La obra fue realizada con gradas prefabricadas (más de 4,684 elementos de entre 3 a 12 metros de longitud) con un acabado excelente que realza la gran belleza arquitectónica del foro, tal como fue concebido. Se realizó en un tiempo verdaderamente corto, permitiendo la ocupación por los espectadores en el área terminada para los conciertos que se comenzaron casi de inmediato al terminar la obra.



Figura 45. Foro sol

El diseño se pensó para servir de gradería para las carreras de autos o bien, mediante la colocación de un escenario, al centro de la herradura, sirviera de foro para eventos masivos.

También denominado Foro Sol, es una clara muestra de las ventajas de la prefabricación.

## MUROS DE RETENCIÓN DE TIERRAS

Periférico ecológico de Puebla, Puebla.  
(Grupo TICONSA, 1995)

El crecimiento poblacional de las ciudades trae consigo el problema del incremento del parque vehicular, lo cual ocasiona grandes trastornos en el diseño vial de las ciudades, sobre todo en las ciudades construidas bajo esquemas en los cuales el diseño urbano de las vialidades es ya obsoleto.

La ciudad de Puebla, la cual posee una bella arquitectura colonial, requería debido a su crecimiento en las últimas décadas de un circuito periférico para evitar el paso de transportes pesados por la ciudad y de ese modo manejar de mejor manera el tránsito de la misma.



Figura 46. Periférico ecológico

La construcción del Periférico de Puebla fue en su momento la respuesta más adecuada para el manejo de los problemas viales, pero debido a la topografía y al gran número de carreteras que parten de la ciudad a otras poblaciones de los Estados de Puebla, Oaxaca y Veracruz, fue necesario construir varios puentes sobre ríos (Río Atoyac), y Pasos Vehiculares, los cuales debían armonizar con el entorno y construirse con las mínimas interrupciones a las vialidades existentes, por lo que la utilización de muros de concreto prefabricado con nervios variables, los cuales incluso sirven de estribos para la colocación de las traveses de los puentes, fue la solución más exitosa.

## TÚNELES EN AUTOPISTAS

Túnel Los Cipreses en México, D.F.  
(Grupo TICONSA, 1994)

La modernización de las carreteras en México, fue un reto importante para hacer innovación, como lo ejemplifica la solución de los túneles hechos en la autopista Chamapa –Lechería, la cual sirve como libramiento de la Ciudad de México y conecta las Autopistas México – Querétaro con la Autopista México – Toluca. Se buscó la mejor solución y la más rápida para la construcción de un túnel en una de las zonas de cortes en terraplenes, donde se quería conservar en la parte superior una zona de jardines que permitiera el paso de vehículos.

Esta solución requiere que se abra el cajón del túnel en excavación a cielo abierto, para luego colocar las dovelas que conforman la estructura, y posteriormente volver a rellenar el cajón excavado, permitiendo de esta manera asegurar aún en terrenos con problemas de estabilidad, el buen comportamiento de los taludes del relleno y del túnel.

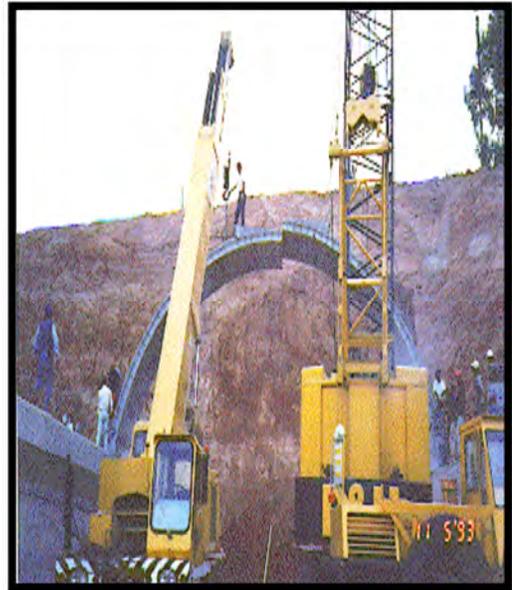


Figura 47. Túnel de los cipreses

Las dovelas pueden ser de una sola sección o en dos secciones, las cuales al centro se unen y se cuela la unión para su trabajo conjunto; la cimentación y el muro de apoyo pueden ser también prefabricados, dándole al sistema una inusitada velocidad de construcción.

Finalmente la cara de acceso y salida del túnel lleva una fachada que permite garantizar la estabilidad del talud superior.

## METROPOLITANO

Túnel del cajón para el Metro de la Ciudad de México.  
(Grupo TICONSA, 1991)

La necesidad de transporte en la Ciudad de México hizo necesaria la construcción del sistema de transporte colectivo, Metro, el cual en sus diferentes etapas ha utilizado elementos prefabricados para las líneas que actualmente posee. En los tramos subterráneos se ha seguido el proceso de excavación a cielo abierto construyéndose después un cajón de concreto, el cual va a contener las vías y el tránsito de los vagones del metro.



**Figura 48. Túnel del cajón para el metro Cd. México**

Finalmente, se tapa el cajón con tabletas de concreto prefabricado presforzado sobre las cuales se procede a colocar el relleno. Por último, se reconstruyen las avenidas, para permitir la circulación de vehículos sobre las líneas del Metropolitano. Prueba de este proceso son los tramos subterráneos de la línea 8 y recientemente la línea B del Metropolitano de la Ciudad de México.

En otros casos se ha recurrido a líneas que son elevadas, las cuales están conformadas por traveses de concreto prefabricado presforzado, que se colocan sobre columnas y quedan elevadas en las vialidades, permitiendo la circulación a lo largo de la línea de Metropolitano.

## CUBIERTAS ESPECIALES

Cubierta de la Iglesia de Santiago Apóstol, Zumpango, Estado de México.  
(Grupo TICONSA, 1987)

La prefabricación de elementos de concreto presforzado para cubiertas como la de esta iglesia ofrece una alternativa de gran calidad para cubrir las necesidades de estos



**Figura 49. Cubierta de la iglesia de Santiago Apóstol**

Centros de reunión, ya que se requieren claros libres muy amplios y grandes alturas para poder evocar la grandeza del espíritu.

En este caso se utilizaron traveses cajón, cuyo centro aligerado permitió reducir el peso de las mismas, y la colocación de elementos (prelomas) entre ellas, alternando elementos de cubierta opacos con translúcidos y así obtener iluminación cenital.

La aplicación de los prefabricados para los grandes claros y cubiertas en recintos de reunión, posee las características de calidad y seguridad estructural adecuadas, ya que al tener un control de calidad más estricto que en los colados en sitio, permite solucionar adecuadamente los retos que estas estructuras plantean. Asimismo, la estética de los elementos de concreto expuestos, poseen un acabado más estético, ya que fueron colados en moldes metálicos, por lo que el acabado final del elemento de concreto es más terso y de apariencia más regular.

## **PUNTES PREFABRICADOS DE GRANDES CLAROS**

Puente Quetzalapa, en la Autopista México - Acapulco.  
(Grupo TICONSA, 1994)

El puente Quetzalapa se encuentra ubicado en el kilómetro 165+ 665 de la autopista México Acapulco (Autopista del Sol), sobre el poblado de Quetzalapa. Es del tipo atirantado, construido sobre una cañada a una altura de 115 m, con una longitud de 424 m, y un ancho de 21.4 m, permitiendo la circulación de 4 carriles.

La superestructura en su totalidad está formada con elementos prefabricados, siendo estos, 192 dovelas que al unirse forman dos vigas principales suspendidas por tirantes, corridas a lo largo de todo el puente; un juego de 91 piezas de puente que se apoyan en las vigas principales y un juego de 588 losas prefabricadas que forman la pista de rodamiento apoyadas sobre las piezas del puente.

El proceso de montaje se hizo lanzando las piezas con estructuras deslizantes de acero denominadas Lanzadoras, mediante las cuales se colocaban las traveses laterales y se iban postensando, para luego colocar las losas intermedias que eran presforzadas y generaban la losa de rodamiento.



**Figura 50. Puente Quetzalapa**

## EDIFICIOS

Edificio de oficinas, Querétaro, Qro.  
(SEPSA, 1995)

Edificio ubicado en la ciudad de Querétaro, totalmente prefabricado. Formado por cuatro niveles a base de columnas, muros spiroll, faldones y losa spiro; con claros de 13 metros. Construido en un tiempo récord, lo cual abate los costos de la obra y permite recuperar la inversión en un menor tiempo.



**Figura 51. Edificio de oficinas**

Edificio de oficinas “Corporativo Revolución”, Avenida Revolución esq. San Antonio, México.  
(INPRESA, 1998)

La construcción de este edificio de oficinas de ocho niveles (el último nivel a doble altura) para oficinas y tres niveles de estacionamiento, en un área de 18.00 X 35.00 m por planta con elementos prefabricados donde los trabajos de excavación para la cimentación y desplante de la columna central de sección 1.00 X 1.00 m ya se habían iniciado; siendo una obra situada en un lugar muy conflictivo en cuanto al tránsito vehicular (Av.Revolución y Eje 5 Sur San Antonio)



**Figura 52. Edificio de oficinas  
“Corporativo Revolución”**

## NAVES INDUSTRIALES

Tienda SAM'S CLUB Pachuca, Hgo.  
(INPRESA, 1999)

La Tienda se llevó a cabo con nuestro SISTEMA TY 2000 Sistema Integral a base de elementos prefabricados (zapatas, columnas y muros de fachada TT) asociados a cubierta de Lámina engargolada Arcotecho, En este caso se requirió de una SUPERFACHADA de lámina, ésta es una de las ventajas que proporciona el mismo sistema de acuerdo a los requerimientos del cliente; que se pueden hacer modificaciones y adecuaciones al proyecto.



Figura 53. Tienda SAM'S CLUB

## ESTACIONAMIENTOS

Estacionamiento "Acapulco", Acapulco,  
Guerrero.  
(SEPSA, 1991)

En esta estructura, se optó por resolver el sistema de piso a base de la losa extruida tipo spiroll con claros de 10 metros y un peralte de 25 centímetros.

Entre las ventajas que presentó el sistema, se mencionan: el tiempo de construcción, que se redujo considerablemente del programa original, así como el peso propio de la losa que al ser menor que otros sistemas, ayuda considerablemente al comportamiento de la estructura.



Figura 54. Estacionamiento  
Acapulco

Estacionamiento de 2 niveles para el colegio Americano.  
(Pretencreto, 1998)

Estructura prefabricada a base de columnas, travesaños portantes y sistema de piso con doble "T" para estacionamiento subterráneo diseñado para recibir cargas de estacionamiento en el nivel inferior y en el superior canchas deportivas, resuelto con claros de 9 x 15 m.



**Figura 55. Estacionamiento de 2 niveles para el colegio Americano.**

## CAPITULO III. FABRICACIÓN

### 3.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS PRESFORZADAS.

- 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.

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



Figura 56. Fabricación en obra de una viga cajón con aletas pretensada

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.

Para iniciar cualquier proceso de producción se requiere de materia prima para la elaboración del producto. Las estructuras y sus miembros son de concreto presforzado con tendones de acero, o de concreto prefabricado reforzado 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.

El uso de acero de muy alta resistencia para el presfuerzo es necesario por razones físicas básicas.

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.



**Figura 57. Detalle de almacenaje y transporte de cemento a granel en una planta de producción**

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 especifica 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.

### **3.2 COMPONENTES DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN.**

Los componentes de una planta fabricante de estructuras presforzadas, es simplemente la organización de un centro de producción adecuado para el proceso de construcción óptimo y con los estándares de calidad adecuados, la cual es dividida en diferentes sectores o zonas de trabajo una planta de presforzados consta de la siguiente organización y componentes:

#### **➤ ÁREAS COMUNES**

- Caseta de vigilancia.
- Estacionamiento para clientes y visitantes.
- Comedor.
- Baños y vestidores.

#### **➤ ÁREA ADMINISTRATIVA**

- Dirección.
- Áreas técnicas
- Contabilidad
- Ventas
- Informática

## ➤ **ÁREA OPERATIVA O DE PRODUCCIÓN**

- Almacenaje de materiales.

Para iniciar cualquier proceso de producción se requiere de materia prima para la elaboración del producto. Las estructuras y sus miembros componentes a que se refiere este manual 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. El uso de acero de muy alta resistencia para el presfuerzo es necesario por razones físicas básicas.

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

- Almacén de acero (estructural y de presfuerzo).

El acero de presfuerzo deberá almacenarse en lugares cubiertos o protegidos para evitar la corrosión.



**Figura 58. Detalle de las zonas de almacenaje del acero de presfuerzo.**

- Taller para habilitado de acero



**Figura 59. Habilitación de acero**

- Área para habilitado de acero estructural.
- Mesas de colado muertos, anclaje y sistema de curado a vapor.



**Figura 60. Habilitado de acero estructural y mesas 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.



**Figura 61. Molde y mesa de colado presforzado para traveses doble T. y Fabricación de concreto en planta**

- Dosificadora y mezcladora de concreto ( en caso de fabricar el concreto en planta)
- Área de depósito de agregados (Arena, Grava, y Agua).

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, estos deberán ser casi horizontales o con muy pequeña pendiente. Se deben evitar montones de forma cónica o descargar los agregados de manera que estos rueden por los lados de pendientes muy grandes pues esto provoca segregación.

- Silos de almacenamiento

Cuando se usa cemento a granel deberá almacenarse en silos sellados contra el agua, humedad y contaminantes externos.

Los silos deberán 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.

- Zonas de retoque, resane y de almacenaje.



**Figura 62. Retoque, resane y almacenamiento**

- Almacenaje y estibas.



**Figura 63. Zona de almacenaje y estibaje de piezas**

Un elemento deberá de almacenarse soportando únicamente en dos apoyos localizados en 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.

- Áreas de circulación (grúas, revolvedoras, tractocamiones y personal operativo).

Vista del área de circulación.

- Área de desperdicios.
- Bodega de herramientas y equipo menor.
- Taller mecánico para reparación de maquinaria
- Estacionamiento de maquinaria pesada
- Tracto camiones.
- Laboratorio de control de materiales.
- Equipo de control de calidad y del producto.

### 3.2.1 EQUIPO E INSTALACIONES

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

- Silos de almacenamiento.
- Zonas de retoque, resane y de almacenaje.
- Extrusoras.
- 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 revolovedor 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.



**Figura 64. Corte y modelado de varilla de acero**

### **3.2.2 MOLDES.**

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. En el sistema de prefabricación pretensada, algunos moldes están fabricados de tal forma que los cables o torones de presfuerzo se anclen 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 trabes 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.

### **3.2.3 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. Como se explicó, en el sistema de prefabricación pretensada los cables o torones de presfuerzo se anclan previos al colado de la pieza.

Estos 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 descritos en el inciso 6.1.4 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.

En el sistema de postensado, las mesas de colado no son tan largas, pues el colado generalmente se hace pieza por pieza.

No se requiere de muertos que soporten la fuerza de presfuerzo. Solamente se requiere que la mesa sea una superficie plana, generalmente una plancha de concreto con suficiente rigidez para soportar las cargas debidas al molde, al colado y a las operaciones de desmolde.

### 3.2.4 CURADO.

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 los días.

### 3.2.5 DESMOLDE DE ELEMENTOS.

Como se ha explicado en capítulos anteriores, 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

Para tomar en cuenta las fuerzas en el elemento causadas por la succión y el impacto se utilizan como práctica común factores de incremento al peso propio de la pieza.

Estos factores se usan en diseño por flexión de paneles y no se deben de aplicar a factores de seguridad en accesorios de izaje.

Un elemento prefabricado deberá ser diseñado para los esfuerzos a los que será sometido durante cada fase de su existencia, que en muchas ocasiones son diferentes a los que tendrá cuando esté en su posición final. Las fases que se deben de considerar en el diseño son las siguientes:

1. Desmolde
2. Manejo en patio y almacenaje
3. Transporte al sitio de la obra
4. Montaje
5. Condición final
6. 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.

La diferencia de temperaturas entre las superficies de un elemento, especialmente en paneles de fachada de grandes dimensiones, pueden 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 barrotos 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 es sin antes revisar que el elemento inferior soporte la carga en el punto en el que se aplique.

### **3.3 ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS.**

Existen accesorios y herramientas adicionales como mangueras de sistema de frenos de mayor longitud que las convencionales para remolques o patines traseros, extensiones para luces y torretas, letreros según lo marca la norma y cadenas y gatas para aseguramiento de la carga, entre otros.

Para la conducción de una combinación que requiera de unidad piloto, es conveniente que se cuente con sistemas de radio-comunicación.

Para maniobras complejas existen dollys o módulos direccionales que permiten maniobrabilidad en los patines traseros. También es frecuente que cuando en el acceso a una obra no hay espacio suficiente, se realicen maniobras con dos tracto camiones “espalda con espalda”

Para operar los equipos direccionales se debe contar con herramientas y equipo especial.

### 3.4 PLANTAS DE CONCRETO PRESFORZADO EN MÉXICO.

En México contamos con una gran variedad de empresas productoras de concreto presforzado y múltiples servicios de producción, siendo uno de los países de Latinoamérica con mayor participación en proyectos estructurales y diseños prefabricados.

La siguiente lista son algunas de las empresas que se especializan en los métodos de fabricación de elementos de concreto presforzado.



Figura 65. Logo planta Presforza S.A.  
C.V.

**PRESFORZA** es una empresa dedicada a la fabricación, transporte y montaje especializado de estructuras de concreto prefabricado y presforzado, asesoría en proyectos para la implementación de sistemas constructivos prefabricados tanto estructural como arquitectónico, cubriendo los rubros de edificación, puentes vehiculares, peatonales, cimentación, estructura, superestructura y obras especiales. <http://www.presforza.com.mx>



Figura 66. Logo empresa FAPRESA

**FAPRESA** es una empresa familiar fundada en 1970 y actualmente es líder en el mercado mexicano de fabricación de prefabricados arquitectónicos de concreto. Ofrece el servicio online en el mercado, para el desarrollo de ingeniería y diseño de prefabricados arquitectónicos adhoc a los proyectos. Sus procesos de producción están certificados bajo la norma ISO 9001.2000. <http://www.fapresa.com.mx>



Figura 67. Logo Grupo constructor  
SEPSA

Actualmente Grupo Constructor **SEPSA** es una de las empresas con mayor permanencia y prestigio en el área de prefabricados y montaje en nuestro país. <http://www.sepsacv.com.mx/>



Figura 68. Logo compañía ICA

**ICA** es una compañía líder en operación de infraestructura y construcción en México. Este año, celebraron su 65 Aniversario, tiempo durante el cual se han dedicado a realizar proyectos de infraestructura –en México y otros países- siempre con la convicción de impactar el desarrollo económico y social. <http://www.ica.com.mx>

Empresa que inicia con MYCSA en 1968 con maniobras de Transporte y Montaje, posteriormente **PRETENCRETO** inició operaciones en el proceso industrializado de la fabricación de elementos Prefabricados de concreto pretensado.



Figura 69. Logo Grupo  
PRETENCRETO

El grupo es líder en el sector de la construcción con elementos pretensados prefabricados de concreto, liderazgo ganado por la Fabricación, Transporte y Montaje de los más grandes elementos de concreto pretensado, que se hayan fabricado, transportado y montado en México y en el mundo. <http://www.pretencreto.com.mx>



Figura 70. Logo empresa SPANCRETE

**SPANCRETE NORESTE** es una empresa dedicada a la prefabricación de elementos de concreto presforzado. Reconocida ampliamente por su calidad y servicio, está orientada a la industria de la construcción, ofreciendo una solución integral en: ingeniería, fabricación, montaje y colocación.

<http://www.spancrete.com.mx>



Figura 71. Logo empresa FREYSSINET

**FREYSSINET, S. A.** fundada el 28 de noviembre de 1966. Empresa con dos funciones principales;

- 1.- Venta del servicio de presfuerzo (postensado).
- 2.- Proyecto y Diseño Estructural para apoyar la actividad del presfuerzo.

<http://www.freyssinet.com.mx>



Figura 72. Logo empresa vibosa

Con más de 5 décadas de experiencia **VIBOSA** se ha consolidado como una empresa pionera en la fabricación de productos para la construcción a base de elementos prefabricados de concreto (pretensados y postensados). Con una visión acertada, moderna y eficiente, ha logrado posicionar el prefabricado entre la gran comunidad.

<http://www.vibosa.com.mx>

## **CAPITULO IV. TRANSPORTE Y MONTAJE**

### **4.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE**

#### Aspectos generales

Al seleccionar el proceso constructivo a utilizar en un proyecto, es necesaria la correcta evaluación del transporte. En gran medida, del resultado de esta evaluación se 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. En condiciones normales, es aceptable que una obra que esté a menos de 350 km tenga un costo por transporte del 10 al 20 por ciento del costo total de los prefabricados.

#### **4.1.1 TRANSPORTE.**

Existen dos 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 o federales.

Los primeros se realizan con camiones o tracto camiones y plataformas, y los segundos con equipos de transporte especializado. Por los riesgos que implican el exceso de peso y dimensiones, estas maniobras las deben realizar empresas que cuentan con registro en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

#### **4.1.2 EQUIPOS DE TRANSPORTE ESPECIALIZADO.**

##### **Tipos y Capacidades:**

Para realizar fletes se utilizan combinaciones vehiculares de tractocamiones acoplados a semirremolques. A continuación se define una clasificación atendiendo a su tipo. Se incluyen los más comunes usados en México.

Tracto camión (T): Vehículo automotor destinado a soportar y arrastrar semirremolques y remolques. Normalmente se utilizan vehículos con motores diesel de 300 a 450 HP.

Semirremolque (S): Vehículo o plataforma sin eje delantero unido a un tractocamión de manera que sea jalado y parte de su peso sea soportado por éste. Es posible también utilizarlos separados del tractocamión pero unidos a traveses de grandes dimensiones.

Remolque (R): Vehículo o plataforma con eje delantero y trasero no dotado de medios de propulsión y destinado a ser jalado por un vehículo automotor o acoplado a un semirremolque.

Módulo (M): Plataformas acoplables longitudinal y lateralmente, con ejes direccionales y suspensión hidráulica o neumática.

Patín delantero (PD) Y Patín trasero (PT): Bastidores de uno o más ejes con llantas para transferir carga; también conocidos como "dollys". En ocasiones, estos dollys tienen dirección propia para facilitar las maniobras.

Grúa industrial (GI): Máquina de diseño especial autopropulsable o montada sobre un vehículo para efectuar maniobras de carga, descarga, montaje y desmontaje.

Unidad piloto (UP): Vehículo de motor dotado de una torreta y señales de advertencia para conducir y abanderar el tránsito de las grúas industriales o las combinaciones vehiculares por los caminos y puentes.

Las combinaciones vehiculares especiales podrán aceptarse cuando se trate del transporte de carga indivisible (es decir, una sola viga) con peso útil menor a 90 toneladas.

El transportista deberá demostrar con una memoria de cálculo la distribución de cargas de la combinación y que la carga se desplaza con seguridad considerando las características geométricas de la ruta que se seguirá.

## **4.2 NORMAS Y REGLAMENTOS.**

Dependiendo de la ruta a tomar, el transportista deberá respetar las normas y reglamentos que se encuentren en vigor en las entidades por las que transitará, de tal forma que si los viajes no son locales deberá respetar la norma NOM-040-SCT-2-1995 que corresponde al 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.

Además, deberá respetar la Ley de caminos, puentes y autotransporte federal, el reglamento de autotransporte federal y servicios auxiliares, el reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.

La norma NOM-012-SCT-2-1995 trata sobre el “Peso y Dimensiones Máximas con los que pueden Circular los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal”.

La dimensión máxima de una combinación vehicular para transitar en condiciones ordinarias es 20.8 m por lo que al restarle la dimensión del tractocamión resulta una pieza de 15.8 m. 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. Estas 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.

#### **4.2.1 SEGURIDAD.**

Para no correr riesgos es importante observar las disposiciones de señalización y abanderamiento que exige la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Por su peso, la cantidad de energía liberada en una colisión es muy grande; además, siempre será más difícil detener vehículos con cargas y dimensiones excesivas.

En los accesos a las obras es conveniente tener señalizaciones adicionales y bandereros para auxiliar a los operadores y maniobristas. Los terraplenes y terracerías deben estar nivelados y bien compactados para evitar hundimientos o que se atasque el equipo.

En ocasiones existen sitios en la ruta por donde no pasa la combinación vehicular; sin embargo, existe la posibilidad de “colear”, es decir, auxiliar la maniobra levantando con una grúa la parte posterior del elemento. Para esto es necesario que el área cercana esté libre de cables y obstáculos. Resulta muy peligroso aproximarse a cables de alta tensión pues, dependiendo de las condiciones de humedad, intensidad y voltaje, a distancias menores a 1.50 m se puede formar un arco y transmitir la corriente al equipo

Cuando se requieren permisos especiales de otras dependencias como Ferrocarriles, Comisión Federal de Electricidad y Policías Municipales entre otros, resulta conveniente programar y coordinar los trabajos con anticipación para evitar tiempos muertos de tractocamiones o grúas.

### **4.3 CONSIDERACIONES ADICIONALES DE ANÁLISIS.**

Puntos de apoyo: Al transportar las piezas prefabricadas deben estar apoyadas exclusivamente en los puntos considerados desde el diseño, de lo contrario, pueden sufrir daños. Asimismo, en caso de formar estibas o tongas, los apoyos de las camas superiores deben coincidir perfectamente con los de las camas inferiores para evitar distribuciones de esfuerzos y momentos distintas a las consideradas en el análisis.

Al colocar las piezas en las unidades de transporte se deben apoyar sobre elementos de madera o en apoyos especialmente diseñados para ello

Lo más común es que los elementos prefabricados estén diseñados para apoyarse simplemente en sus extremos; sin embargo, por maniobrabilidad en el transporte, en ocasiones se requiere meter hacia adelante el patín trasero o colocar el apoyo posterior en voladizo. Al hacer esto, se genera un momento negativo que, sumado al que genera el presfuerzo, debe ser contrarrestado con acero de refuerzo ordinario.

### **4.4 MONTAJE.**

#### **Generalidades**

En las obras prefabricadas, el montaje representa entre 10 y 30 por ciento del costo total de la obra. En términos generales, mientras mayor sea el volumen de la obra, menor será el costo relativo del montaje.

Sin embargo, hay que considerar que los equipos de montaje por ser especializados y generalmente de gran capacidad, tienen costos horarios elevados, por lo que resulta indispensable una buena planeación de todas las actividades.

Para la elección adecuada del equipo hay que considerar, entre otras cosas, que la capacidad nominal con la que se le denomina comercialmente a una grúa es la carga máxima que soportará pero con el mínimo radio y a la menor altura. Es obvio que la capacidad nominal de una grúa siempre tendrá que ser mayor que la carga más grande a mover.

Esta capacidad disminuirá proporcionalmente a la distancia a lanzar el elemento a partir del centro de giro de la grúa, y a la altura a levantarlo.

Los rangos de capacidad 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”.

En términos simples podemos calcular la capacidad requerida,

C, de una grúa con la siguiente función:

$$C = 0.37 W d$$

Donde C es la capacidad requerida, W el peso del elemento (T) y d es la distancia desde el punto de rotación de la pluma hasta el centro del claro de la pieza a montar (m).

También es importante considerar que las grúas de mediana y gran capacidad (mayores de 45 toneladas) tienen en sí mismas exceso de peso y dimensiones, por lo que su traslado y acceso a las obras en ocasiones resulta imposible o incosteable.

#### **4.4.1 MONTAJE DE ELEMENTOS VERTICALES.**

Columnas. Lo primero es obtener los niveles de la obra y adecuar el perno de nivelación al nivel de desplante según el proyecto. Se prepara la columna retirando accesorios que en lo sucesivo no se utilizarán como son ganchos de izaje para maniobras y atiesadores que no se requieran, entre otros.

Para el montaje de las columnas se acostumbra primero descargar del camión al piso para luego tomar la pieza de los puntos preestablecidos. Cuando las piezas son pequeñas, se toma del extremo superior y la grúa gira a medida que levanta la columna hasta llegar al centro de gravedad de la pieza en posición vertical.

Cuando la pieza es de mayores dimensiones, se toman los dos extremos con malacates independientes o con dos grúas si la capacidad de una no es suficiente. Mientras una levanta el extremo superior la otra toma el extremo inferior, hasta que la primera toma el total de la carga, se suelta la segunda grúa y la primera coloca la columna en su posición.

Todos los elementos deben colocarse perfectamente a plomo en todas sus caras y a toda su altura. Antes de conectarse definitivamente se debe confirmar su verticalidad con métodos topográficos o con plomada.

Generalmente el análisis estructural supone que las columnas están empotradas al sistema de cimentación, por lo que es necesario transmitir a éste las cargas verticales y el momento de empotramiento.

### **Mencionaremos tres formas de lograrlo:**

**a) Candelero:** Es un hueco cuyas dimensiones en la base son poco mayores a las de la columna a empotrar. Su refuerzo debe estar ligado a la cimentación.

Una vez colocada y puesta a plomo la columna, se acuña perfectamente en todas sus caras y se cuela el espacio entre el candelero y la columna con mortero con estabilizador de volumen, asegurándose que penetre perfectamente en la parte inferior mediante un mortero de alto revenimiento. Se debe esperar a que el relleno obtenga resistencia para retirar las cuñas superiores y para cargar sobre la columna las piezas subsecuentes.

Normalmente es posible continuar con el procedimiento de montaje después de 24 horas utilizando una buena mezcla.

**b) Vainas:** Son huecos o perforaciones en la cimentación mayores al diámetro de las varillas de armado principal que sobresalen de la cara inferior de las columnas. Estas varillas se introducen en las vainas que previamente se saturaron con adhesivo epóxico de alta resistencia el cual adhiere la varilla de la columna con la cimentación.

La ventaja de este procedimiento es que se utiliza el peralte total de la cimentación para transmitir las cargas verticales, la desventaja es que se requiere de mucha mayor precisión en los colados en sitio y cualquier corrección es costosa.

Además, se requiere de apuntalamiento provisional, mayor espacio y de herramienta más cara

Esta conexión no debe usarse en zonas sísmicas ya que no es capaz de transmitir ni cortantes ni momentos y tiene una capacidad mínima para resistir volteos.

**c) Placa soldada:** Se dejan las preparaciones de acero estructural en la cimentación y en la columna con el anclaje suficiente para transmitir los esfuerzos deseados y se suelda en campo placa con placa.

En general, no es recomendable usar soldadura para conectar elementos estructurales debido a que es costoso, requiere de un riguroso control de calidad, es sensible a la corrosión y su falla es frágil ante cargas dinámicas como las originadas por los sismos. Muros estructurales.

El procedimiento es fundamentalmente igual al anterior con la salvedad que no es usual que los muros cuenten con perno de nivelación.

Muros de contención. Existen muros de contención de una pieza por toda la altura o en escamas. Los primeros se montan de igual forma que los descritos en el punto anterior con la diferencia que se debe dejar desplomado 0.3 por ciento de la altura en el sentido opuesto al del empuje de la tierra que contiene.

Los muros formados por escamas se deberán de colocar según las especificaciones del fabricante para lograr la estabilidad de taludes.

Precolados de fachada. Por sus características es necesario tener mucho mayor cuidado en el manejo de estos elementos.

Se recomienda utilizar barriletes de izaje para no tener que recortar ganchos u orejas y para dar al precolado libertad de movimiento con las orejas articuladas y lograr así mayor facilidad en la colocación.

En ocasiones cuando es necesario abrazar a la pieza y para no maltratar los acabados, se utilizan bandas plásticas o estroboes suaves.

#### 4.4.2 MONTAJE DE ELEMENTOS HORIZONTALES.

Trabes portantes y de rigidez. Preferentemente, estos elementos deben ser tomados directamente del tractocamión que los transporta y colocados en la estructura en una sola maniobra, para lo cual el operador debe estudiar el sitio óptimo para estabilizar su grúa y realizar el menor número de movimientos posibles.

Una vez colocada y centrada la pieza se revisa el plomo de sus costados y centros de trazo. Si es necesario se calza del lado que se requiera y se acuña para garantizar su correcta colocación.

Cuando se requiere soldadura, se puntea sólo lo necesario antes de soltar los grilletes, para que la pieza soporte su peso propio; mientras la brigada de montaje prosigue con otras piezas, la de soldadura terminará los cordones según proyecto.

Losas, placas o tabletas. Son los elementos más sencillos de montar ya que en general se colocan simplemente apoyados. Sólo hay que centrar la pieza y revisar que el apoyo sea adecuado.

En ocasiones, se requieren apoyos de neopreno para repartir esfuerzos de aplastamiento.

Trabes de grandes dimensiones para pasos o puentes. El montaje ideal es el que se realiza con una grúa colocada al centro del claro con áreas libres de maniobra.

En puentes formados por una pieza, la grúa y el tractocamión se colocan a 90 grados del trazo longitudinal del paso, se iza la pieza y se gira hasta llegar a posición final sin tener que lanzar el centro de carga más de 6 ó 7 metros.

Para puentes que cuentan con dos o más trabes, se requieren espacios paralelos al trazo longitudinal del puente para lanzar la pieza o para girar  $80^\circ$  y soltarla poco a poco hasta dejarla en su posición definitiva.

Cuando un canal o el cauce de un río no permite construir una plataforma al centro del claro, y cuando la capacidad de la grúa no alcanza a lanzar la pieza hasta el otro apoyo, se requieren dos grúas para hacer el montaje, una de ellas lanzará la trabe y la otra la recibirá.

Existen dos formas de hacer esta maniobra: la primera cuando una grúa tiene la capacidad de cargar la pieza totalmente y la lanza hasta el máximo radio de giro; en ese momento la segunda grúa toma el extremo que le queda más cercano, la primera grúa suelta la pieza que debe contar con algún punto para apoyarse, la segunda grúa toma sólo un extremo y la pieza es colocada en posición "por puntas".

La segunda forma es con auxilio de un tractocamión, el cual soporta un extremo de la pieza, mientras el otro extremo lo lleva la primera grúa; ésta lanza la punta al tiempo que el tractocamión avanza en reversa introduciendo la trabe en el claro hasta llegar al radio máximo en donde la segunda grúa toma la punta, la primera grúa la suelta, se gira y toma la punta que estaba apoyada sobre el tractocamión y se termina la maniobra igual a la anterior.

El primer método es adecuado para piezas muy largas y el segundo para piezas muy pesadas. Para piezas de mayores dimensiones pueden emplearse combinaciones de dos o más grúas para lo cual se requieren dispositivos especiales para repartición de cargas, amarre y soporte de las piezas.

#### 4.4.3 TIPOS Y DIMENSIONES DE EQUIPOS DE MONTAJE.

Los equipos de montaje para elementos prefabricados los podemos dividir en dos grupos, los de pequeña capacidad y los de mediana o gran capacidad.

En general, los elementos para losas cortas como las losas alveolares, prelosas y viguetas, entre otros, y los elementos para fachadas y muros se consideran de peso pequeño, aunque se pueden montar con grúas hidráulicas, en ocasiones se utilizan 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.

En obras de menor envergadura, se utilizan malacates, gatos y pórticos.

Las grúas hidráulicas se dividen en telescópicas y estructurales o de celosía.

Las primeras tienen las siguientes ventajas: tienen mayor precisión ya que poseen una función más al extender su pluma y, por lo mismo, pueden introducirla en lugares inaccesibles para una pluma rígida.

zEstas grúas se dividen en montadas sobre camión y autopropulsadas o todo terreno.

En general las grúas telescópicas de menos de 140 toneladas pueden transitar completas y listas para trabajar llegando a la obra, sobre todo, las montadas sobre camión.

Las autopropulsadas tienen mayor movilidad por su menor tamaño y porque poseen dirección en ambos ejes, además de que pueden transitar con cierta carga sobre los



Figura 73. Grúa telescópica

neumáticos; sin embargo, para tránsitos largos requieren de un tractocamión con cama baja para su traslado, lo que incrementa el costo.

El mantenimiento en el sistema hidráulico de estas grúas debe ser más riguroso porque la pérdida de presión complicará las maniobras. Por su parte, las grúas estructurales o de celosía superan a las anteriores en capacidad, ya que su pluma es mucho más ligera y trabaja en compresión y no a flexión; sin embargo, en tránsitos largos, deberán contar con tracto camiones para transitar los accesorios, de tal forma que al llegar y al salir de una obra requieren de tiempo y espacio para armar contrapesos y la longitud de pluma necesaria.

Normalmente están montadas sobre camión, el cual cuenta con el sistema hidráulico de gatos para estabilizarse. También existen sobre orugas que pueden hacer traslados muy cortos pero con toda la carga, mientras que las montadas sobre camión no pueden transitar con toda la carga.

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

A continuación enunciamos situaciones que podrían presentarse ocasionando retrasos en los ciclos de operación (transporte y montaje), generando tiempos muertos de equipo y por tanto, costos adicionales.

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

1) Falta de seguimiento y programación adecuada del transporte, de lo que depende el inicio y fin de un montaje.

Para esto se requiere de un tiempo holgado para fabricación

2) Días feriados y períodos vacacionales, en los que no se puede transportar con exceso de dimensiones

3) Fallas de coordinación al subcontratar servicio de transporte separado del de montaje

4) Falta de tractocamiones suficientes para cumplir a tiempo con el programa de transporte y montaje.

5) Personal de montaje insuficiente. Se recomienda considerar 2 ayudantes de montaje para trabes, 4 para muro y 3 para losas, agregando a los anteriores un encargado de montaje por frente.

6) En obras foráneas, los días lunes y sábado no son aprovechados ya que el personal los ocupa en traslados.

7) Falta de personal capacitado para montajes.

8) Falta de coordinación con las brigadas de soldadura o cualquier otro trabajo de campo interconectado con el montaje.

9) 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.

10) 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, cable 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 ferroviario, o cuando el constructor requiere estar operando en otra actividad en la misma zona de la obra.

3) Con horario de montaje nocturno la eficiencia baja por rendimiento de personal y por falta de visibilidad.

4) Cuando por transporte se requiere colear las piezas donde se necesitan permisos y horarios especiales, 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.

5) Terraplenes cuya compactación no es adecuada para el equipo pesado Por lo general las plataformas realizadas sobre río son deficientes. Generalmente se solicita que los terraplenes tengan una compactación del 80 al 90 por ciento Proctor para soportar las descargas de una grúa o del tránsito de un tractocamión.

6) Condiciones no adecuadas de los apoyos, irregularidades o falta de trazo de nivel o de alineamiento.

7) Dificultad para el ascenso del personal al área de posición final de los elementos.

8) Cuando el montaje no es con la grúa al centro del claro, aumentará la dificultad proporcionalmente a la distancia a lanzar

**c) Condiciones intrínsecas 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) La soldadura de campo y la instalación de accesorios en obra, generan más tiempo en el montaje.

5) Colados en sitio intermedios de piezas prefabricadas como conexiones de trabes, colados de bancos de nivel.

6) Recortes y formas especiales para conexiones complejas.

7) Ganchos de izaje fuera del eje de gravedad de la pieza.

8) Mientras mayor sea el peso de los elementos el tiempo requerido es mayor.

9) La falta de uniformidad en las piezas genera posibles errores, mayor trabajo de coordinación y a menudo maniobras dobles.

La estandarización facilita los trabajos

10) Mientras la operación requiera de mayor altura, por la altura misma del edificio o por algún obstáculo a librar, se requiere de más tiempo.

11) En ocasiones cuando el acceso es limitado, se introducen las trabes mediante dos tractocamiones espalda con espalda, ésta maniobra es muy complicada y hay que considerar triples maniobras de carga a camión y descarga a piso, más el tránsito de la grúa de la obra al principio del acceso.

12) Los montajes a dos grúas (lanzados o coordinados) requieren de mucho mayor tiempo, además de una perfecta coordinación entre operadores de grúas, tractocamiones, constructor y en ocasiones autoridades.

13) El armado o desarmado de plumas de celosía con tramo de 18 metros tarda aproximadamente 2 horas, más media hora por cada tramo excedente de 6 m. Este tiempo se debe agregar para obtener el tiempo total de maniobra.

14) 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, y en cada cambio de tipo de piezas se demorarán de 2 a 3 veces más del tiempo previsto, por eso la importancia de uniformizar.

#### **d) Imponderables:**

- 1) La soldadura de campo debe suspenderse totalmente cuando llueve.
- 2) Las condiciones climatológicas adversas retrasan el transporte y montaje, sobre todo en accesos de terracería.
- 3) Condiciones físicas deficientes de las vías de comunicación, lo que se acentúa en lugares remotos.
- 4) Fallas de proyecto, defectos de fabricación o accidentes durante el transporte.

### **4.5 CONEXIONES.**

Los medios de conexión en los tipos de elementos de concreto pesforzado pueden ser los siguientes:

#### **Conexiones en sistemas de piso prefabricado**

Los sistemas de apoyo para elementos de piso de concreto precolado pueden ser del tipo simple o continuo. La conveniencia del empleo de algunos de estos sistemas difiere del tipo de aplicación.

El apoyo simple conviene en claros largos cuando es muy difícil y costoso proveer la resistencia necesaria para momento negativo en los nudos. El apoyo continuo,

conviene más en construcciones del tipo comercial o residencial ya que se requiere obtener continuidad.

Los tipos de conexión para sistemas de piso pre colado como losas extruidas o losas sólidas soportadas por vigas, pueden ser divididos en tres grupos.

La diferencia entre estos tipos de apoyo es el peralte de la viga de soporte antes de la colocación del concreto colado en sitio.

En el apoyo tipo 1 la presencia de concreto colado en sitio bien compactado sobre los bordes del elemento de piso precolado hace posible lograr la continuidad del momento negativo.

Es recomendable que se rompan las orillas de los huecos en los paneles de piso precolado para que penetre el concreto colado en sitio y que se logre la transferencia de esfuerzos cortantes.

En el apoyo tipo 2 si los huecos verticales, entre la viga de soporte y los paneles de piso son muy pequeños, entonces es difícil lograrla penetración del concreto colado en sitio entre la viga y el corazón de la losa extruida precolada, esto puede reducir el esfuerzo cortante y disminuir el desarrollo de momento negativo.

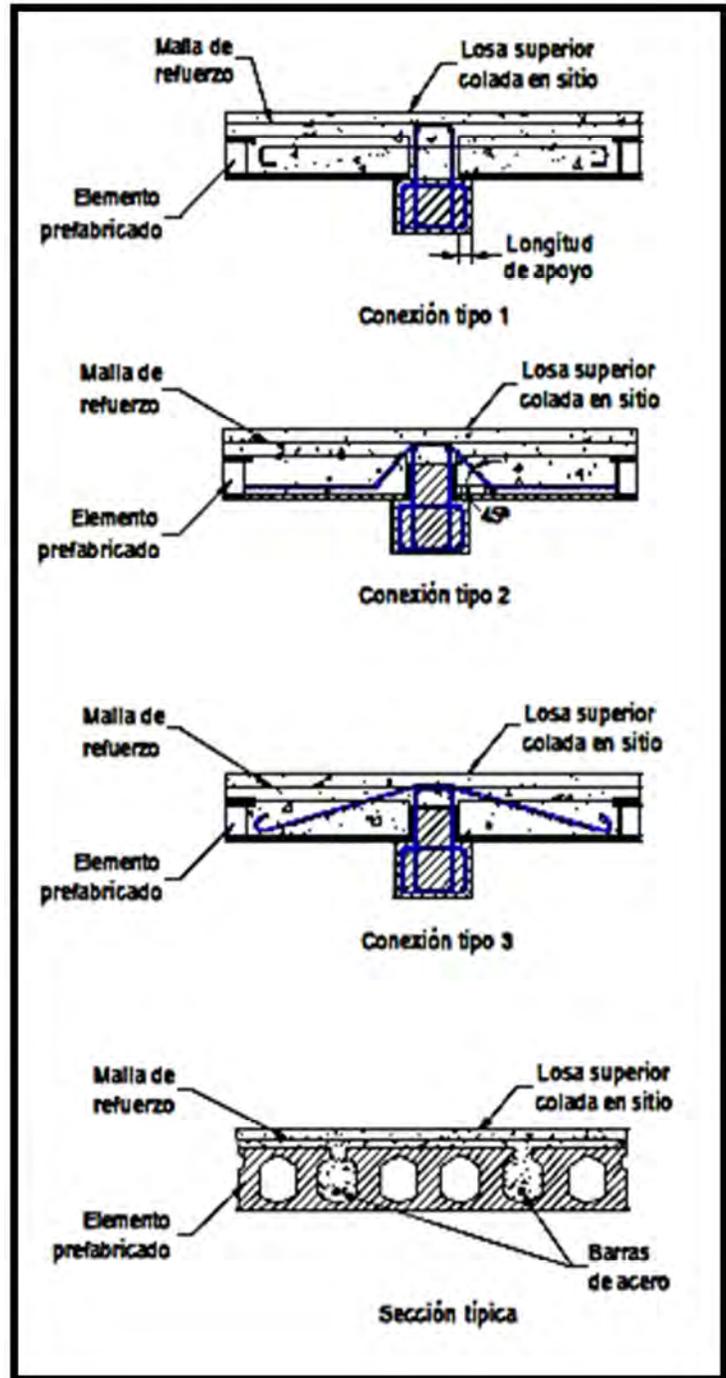


Figura 74. Conexión de elementos de piso prefabricado

Además, el apoyo que proporciona la viga de soporte es mayor y se requiere menor número de puntales para colocar los paneles precolados.

El apoyo tipo 3 es muy frecuentemente utilizado para vigas perimetrales o muros, no necesariamente se requiere colocar concreto colado en sitio sobre la viga de soporte si no se desea lograr un diafragma rígido.

Un método que permite pequeñas longitudes de apoyo se basa en utilizar refuerzo especial entre los bordes del elemento de piso y la viga de soporte que pueda soportar carga vertical en el momento en que los elementos de piso pierdan los apoyos.

Este refuerzo, recomendado por las normas NZS 3101:1995, el Instituto de Concreto Precolado y Presforzado y la Federación Internacional de los Precolados, debe ser capaz de transferir el cortante debido a la aparición de grietas verticales en el borde de las vigas portantes. Puede tener la forma de gancho o barras en forma de silleta, horizontal o refuerzo traslapado.

Como ejemplo, para pisos de concreto precolado tipo alveolar el refuerzo puede ser colocado en algunos de los huecos que se rompen y se rellenan con concreto colado en sitio o mortero.

El refuerzo de la losa superior colada en sitio no es suficiente para dar el apoyo necesario, ya que este podría perderse si la losa superior se agrieta fuera de los elementos de concreto precolado.

Cada miembro del sistema de soporte debe diseñarse considerando la combinación de cargas desfavorables tanto en la etapa de construcción, como en condiciones de trabajo.

La distancia del borde del miembro precolado al borde de la viga de soporte en la dirección del claro debe de ser menor a la longitud del claro dividida entre 180, pero no menor que 50 mm para losas sólidas o alveolares, ó 75 mm para vigas o viguetas presforzadas.

En estudios experimentales realizados en la Universidad de Canterbury (Nueva Zelandia) con refuerzos especiales colocados en huecos de los bordes de elementos precolados y que atraviesan vigas de soporte.

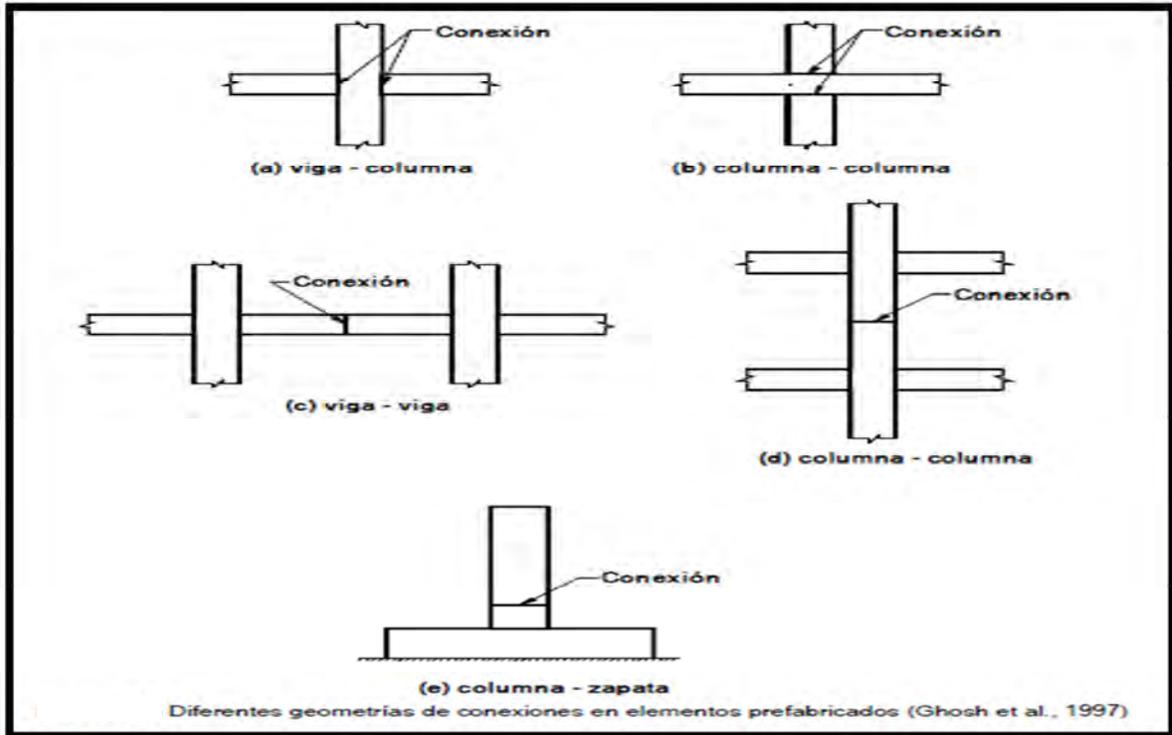


Figura 75. Diferentes geometrías de conexiones en elementos prefabricados.

### Conexiones en Marcos

Uno de los aspectos más importantes a considerar en el diseño de estructuras prefabricadas de concreto a base de marcos es el análisis y diseño de las conexiones. En lo que sigue se describen y se comentan los aspectos más relevantes de estos criterios, haciendo énfasis en aspectos sísmicos.

Con el propósito de uniformizar el empleo de términos, se define como **“nudo”** al volumen geométrico que es común en miembros que se intersectan.

Se define como **“conexión”** al elemento que une los dos elementos prefabricados, o uno prefabricado y otro colado en sitio. La Figura 3.6 (Ghosh et al., 1997) muestra diferentes formas y ubicaciones de conexiones que son posibles en elementos prefabricados de marcos de concreto.

## **Conexiones húmedas y secas**

En Estados Unidos y México ha sido poco común el empleo de las conexiones llamadas “húmedas”. Estas conexiones son aquellas capaces de tener incursiones cíclicas inelásticas, típicas de sismos moderados o intensos, sin que la resistencia se vea afectada.

**Las conexiones húmedas** son aquellas que emplean cualquiera de los métodos de conexión del acero de refuerzo especificados por el ACI 318-95 (traslapes o conectores mecánicos).

En estas conexiones se emplea concreto colado en obra o mortero para llenar los vacíos entre aceros de refuerzo existentes en las conexiones.

**Las llamadas conexiones “secas”**, aquellas que no cumplen con los requisitos de las conexiones “húmedas” y, por lo general, la continuidad del acero de refuerzo se logra por medio de soldadura. A raíz del terremoto de Northridge de 1994, en California, ha surgido la preocupación sobre el empleo de soldadura en conexiones de elementos prefabricados de concreto.

En este terremoto, se observaron fallas en marcos de concreto prefabricado con las citadas conexiones, así como en marcos de acero estructural con conexiones soldadas.

Se debe mencionar que el reciente ACI318-99, prohíbe el empleo de soldadura para empalmar el acero de refuerzo localizado dentro de una distancia igual a dos veces el peralte del elemento medido a cara de columna o trabe. También lo prohíbe en secciones del elemento estructural donde se espere la formación de articulaciones plásticas durante sismos.

## **Conexiones “fuertes” monolíticas**

De acuerdo con el UBC 1997, una conexión “fuerte” es aquella que permanece elástica mientras que las zonas diseñadas para tener un comportamiento inelástico tienen incursiones inelásticas para el sismo de diseño considerado por el reglamento empleado.

Esta condición de diseño se revisa verificando que la resistencia nominal de la conexión fuerte, en flexión y cortante, deba ser mayor que las componentes a las resistencias probables de las zonas diseñadas para tener un comportamiento inelástico.

Aun cuando la ubicación de las llamadas conexiones “fuertes” son elegidas por el diseñador, reglamentos como el UBC 1997 sugieren que se debe cumplir que el centro de la zona diseñada para comportamiento inelástico en flexión debe estar ubicada a una distancia de la conexión no menor que la mitad del peralte del elemento que se conecta, como se aprecia en la Figura 3.7 (Ghosh et al., 1997).

Esta Figura muestra conexiones “fuertes” tanto para uniones “viga-columna”, como para “columna cimentación”. Una conexión “fuerte” puede ser “seca” o “humeda”.

En los casos que la conexión se ubique fuera de la parte media del claro de trabe se recomienda el empleo de este último tipo de conexiones, a menos que ensayos cíclicos de laboratorio demuestren que la conexión “seca” es adecuada (UBC 1997).

### CONEXIÓN VIGA-COLUMN

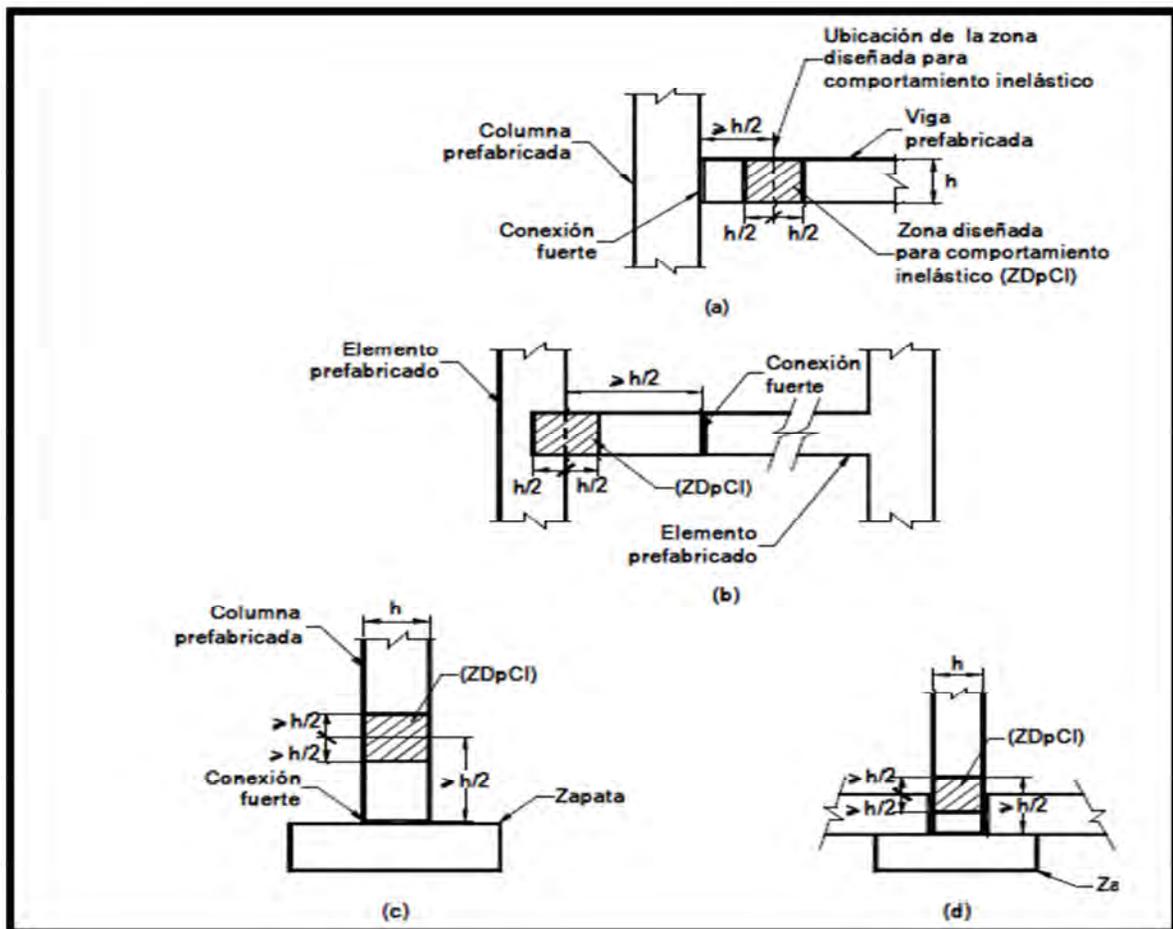


Figura 76. Ubicaciones fuertes y de regiones diseñadas para comportamiento inelástico

#### 4.6 ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS DE MONTAJE.

Un montaje puede ser auxiliado por gran cantidad de accesorios o herramientas para facilitar la maniobra, sobre todo, cuando el equipo está cerca de su capacidad límite, cuando por obstáculos el acceso sea complicado o cuando por diseño los prefabricados requieran ser izados de puntos especiales.

**A continuación se mencionaren algunos de ellos:**

**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 los 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. También se pueden utilizar placas metálicas con grasa.

**Armadura de montaje:** Trabe provisional generalmente formada por armaduras metálicas sobre la cual se apoya la punta de una trabe de gran longitud que corre sobre tortugas para cruzar al extremo contrario de una hondonada.

**Perno de nivelación:** Accesorio que se coloca en la base de una columna desde su fabricación para ajustar el nivel de desplante de ésta, corrigiendo posibles diferencias por eltrazado en campo.

**Tirford:** Malacate 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.

Montaje de columna para puente utilizando balancín y perno de izaje

**Puntal o pie derecho:** Elemento de apoyo provisional para mantener en posición vertical un elemento pendiente de conectarse definitivamente.

**Barriletes de izaje:** Dispositivo con cuerda interior, anclado al prefabricado. Sirve para alojar a un tornillo que sujeta una oreja de izaje con articulación doble o sencilla.

#### 4.6.1 TOLERANCIAS Y HOLGURAS.

##### Procedimientos

Entendemos por tolerancia, el margen de imprecisión aceptado en las dimensiones de los elementos prefabricados originado por procedimientos constructivos o por error, mientras que holgura significa el espacio libre entre las piezas que se debe prever desde el proyecto ejecutivo para hacer posible el ensamble. De esta forma, a mayores tolerancias permitidas, mayores deberán ser las holguras.

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 están indicadas en la primera parte de este capítulo, pero varían dependiendo de los aspectos que a continuación se mencionan:

- a) Dimensiones del prefabricado: a mayores dimensiones del elemento, mayores tolerancias y holguras, no sólo por posibles errores, sino por facilidad de maniobra.
- b) Dirección de la medición: la importancia de la precisión depende si se mide el ancho, el peralte o la longitud.
- c) Tipo de construcción: por razones arquitectónicas, estéticas o de instalaciones y acabados, las edificaciones requieren de mayor precisión que los pasos o puentes vehiculares.
- d) Tipo de prefabricado: los precolados de fachada requieren de tolerancias menores, así como los elementos estructurales que tienen acabados aparentes.
- e) 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

Por lo anterior, es necesaria la consideración de holguras desde el proyecto ejecutivo para posibles correcciones durante el montaje y para facilitar el ensamble o la introducción de elementos prefabricados. De igual forma, las posibles irregularidades que parecieran insignificantes en los perfiles de los prefabricados requieren de considerar holguras en el ancho de elementos ya que de lo contrario, cuando estas se acumulan al final, tienen errores tan grandes que imposibilitan la colocación de los últimos elementos.

## **4.7 PROYECTO Y PLANEACIÓN.**

### **Seguridad**

La seguridad en el montaje empieza con la correcta planeación del proyecto. El responsable delegará las funciones del trabajo e instruirá al resto de la brigada acerca de cualquier riesgo.

Planos de Montaje. Repasar los planos de montaje y los planes de seguridad. Este repaso debe considerar la configuración global de la estructura, pensando en asegurar el elemento para que quede estable durante la fase de la construcción sin liberar los estrobos hasta haber colocado en posición definitiva a la pieza asegurando su estabilidad y revisando la sucesión de la construcción para no obstaculizar fases futuras ni concurrentes de otras brigadas. Accesos.

Revisar los accesos para grúa y tractocamión verificando que se puedan desplazar seguramente sin ser limitados por excavaciones, líneas de corriente aéreas o subterráneas, tuberías, tanques o túneles. Determinar las áreas de trabajo de la grúa y verificar que la capacidad del suelo es adecuada.

En caso de taludes, determinar la distancia a la que la grúa deba colocarse. Algunos problemas se podrán solucionar reduciendo el tamaño de la grúa, utilizando camas de madera y apuntalando para distribuir las cargas de los estabilizadores. Verificar que el acceso o tránsito de las vías públicas se puedan realizar con seguridad, en caso necesario solicitar los permisos de obstrucción a la dependencia correspondiente. Secuencia de la obra.

Programar la secuencia de montaje de forma lógica y ordenada. Se debe evitar realizar el montaje al mismo tiempo y en el mismo sitio que otras actividades en la obra.

En edificaciones de varios niveles, se debe mantener un número designado de pisos desalojados de todo personal en el área bajo los trabajos de giro y colocación de piezas. Se recomienda un mínimo de dos pisos completos, y para elementos pesados, como columnas con potencial alto de perforar una losa se deben considerar pisos adicionales.

Verificar que el lapso de cada operación y el tamaño de la brigada sean tales que no resulten inseguros para las operaciones posteriores.

Dispositivos de montaje. Obtener el peso de los componentes de concreto a levantar y verificar que los accesorios y dispositivos son de la capacidad requerida considerando el ángulo de los estrobos.

Revisar que el número de hilos de levante responde a lo requerido de acuerdo con la capacidad garantizada por el fabricante. Las herramientas de montaje se diseñan con factores de seguridad mayor o iguales a cinco.

El aparejo de estrobos. Deberá estar dispuesto de forma tal que el centro de gravedad coincida con la proyección del cable de levante, por lo que hay que revisar que el tamaño sea adecuado para generar un ángulo de 45° a 60°, sobre todo en montaje de tabletas o losas en que el estrobo podría resbalar.

Asegurarse que los grilletes son de la capacidad requerida por la fuerza de la componente resultante. Comúnmente hay que levantar un elemento de más de dos puntos de izaje, por lo que hay que asegurar que la disposición de los aparejos distribuye la carga de la manera en que fue concebida. Al mismo tiempo se debe considerar que en todo el proceso el tirón de levante no exceda los esfuerzos permisibles en ninguna parte de los accesorios de montaje.

Cuidados de la pluma. Asegúrese que la carga no golpee la pluma o los equipos y nunca permita que ésta golpee o toque cualquier estructura.

El contacto de la pluma con cualquier objeto requerirá una evaluación previa para poner a la grúa nuevamente en servicio.

El daño en la grúa durante la operación deberá ser reparado de acuerdo con las especificaciones del fabricante usando soldaduras certificadas.

Se requiere de reinspección y pruebas de carga después de que se concluya la reparación y se pide una certificación antes de que la unidad pueda regresar al servicio. Líneas de transmisión eléctrica.

Si existen líneas de alta tensión en la zona próxima al montaje, se debe revisar que en ningún caso se acerque ningún elemento (segmento de pluma, estrobos o la pieza prefabricada). Si lo anterior es inevitable, se deberán liberar de energía eléctrica.

Si se necesita utilizar el espacio que ocupan los cables de energía eléctrica, se deberá tramitar con oportunidad el retiro de las líneas ante la institución correspondiente.

En caso que sólo se requiera aproximarse a las líneas de corriente, también se puede solicitar que la institución realice el trabajo de aislamiento provisional de los cables para trabajar con seguridad, de acuerdo con la tensión de las líneas y sus especificaciones.

Si una parte de una grúa hace contacto con una línea de alta tensión, las personas que trabajan en la proximidad de la máquina están en peligro de ser electrocutadas.

El contacto con líneas de alto voltaje es la principal causa de muertes relacionadas con el uso de grúas. Las guías de la Tabla 6.1 son de distancias mínimas recomendadas que se deben mantener tanto para la grúa en tránsito como cuando se encuentra en labores de montaje:

1. Trate a todos los cables como si tuvieran electricidad hasta que disponga de información que indique lo contrario.
2. Cuando opere una grúa, apóyese en un señalador calificado cuando las distancias entre la longitud de la pluma y las líneas de poder sean difíciles de precisar por el operador.
3. Utilice cuerdas y cables no conductores siempre que sea posible.
4. No almacene, cargue o descargue cualquier material que tenga que ser manejado por la grúa en sitios más cercanos que las distancias mínimas a las líneas de poder.
5. No ubique caminos de acceso ni rampas cerca de líneas de electricidad.
6. Trabajar cerca de transmisoras de radio, televisión o microondas puede causar que la pluma se cargue eléctricamente.  
Esto puede causar quemaduras al personal que maneja la carga o provoca que los trabajadores caigan por la sorpresa del choque eléctrico.

Deben usar guantes de caucho para proteger sus manos.

En caso de ocurrir algún contacto con electricidad el operador no debe salir de la máquina hasta que se le hayan retirado los cables. Salir de la cabina puede ser fatal. Si por alguna razón el operador debe salir de la cabina, lo único que puede hacer es saltar tan lejos como pueda.

Él no debe permitir, bajo ninguna circunstancia, que alguna parte de su cuerpo esté en contacto con el suelo al mismo tiempo que otra parte toque a la máquina.  
Grúas con carga en movimiento.

Cuando las condiciones de la obra así lo requieran, se deben considerar los siguientes puntos en las maniobras de grúas en movimiento con carga.

1. Nunca enrolle el cable con el que sujeta carga en las manos o cuerpo.
2. Evite viajar con pesos cercanos a la capacidad de carga
3. Coloque la pluma alineada con la dirección del viaje. Siempre que sea posible, lleve la carga en la parte trasera y amárrela a la grúa para protegerla de oscilaciones y balanceos.
4. Evite irregularidades que pudieran causar que la grúa se ladee y oscile lateralmente.

Montaje de elemento en zona urbana.

Nótese el área de seguridad para el montaje del elemento y la distancia de los equipos con líneas de corriente.

Distancias mínimas requeridas con líneas transmisoras de electricidad.

Rangos de voltaje de líneas de poder, kV.

Distancia mínima requerida en metros (cuando la grúa esté trabajando)

Distancia mínima requerida en metros (mientras esté en tránsito)

Hasta 50 3.00 1.20

De 50 a 200 4.60 3.00

De 200 a 350 6.10 3.00

De 350 a 500 7.60 4.90

De 500 a 750 10.70 4.90

De 750 a 1000 13.70

5. Mantenga la carga tan cerca del terreno como sea práctico.
6. Evite paradas y arranques súbitos.
7. Viaje con una velocidad baja. Dar vueltas solamente si es necesario
8. Mantenga la presión especificada de las llantas

9. Ponga la pluma en el ángulo más alto posible (use el radio más pequeño posible). Obstrucciones. El área de izaje deberá estar limpia de toda obstrucción. El operador de la grúa debe tener una visión clara de todas las obstrucciones y del área bajo el elemento.

#### **4.8 SEÑALIZACIÓN Y ABANDERAMIENTO.**

Para asegurar una correcta señalización y abanderamiento es necesario asignar responsabilidades para cada actividad, definiendo:

- a) Quién instalará y moverá las barreras y señalamientos de seguridad controlando el acceso a la zona de trabajo.
- b) Quién colocará los señalamientos en pisos montados y alrededor de huecos en techumbres
- c) Asignar una brigada para guía y abanderamiento de equipos pesados en movimiento, sobre todo cuando es necesario invadir zonas de la vía pública ya sea en forma estacionaria o para maniobras de acceso y colocación.
- d) Establecer quién proveerá iluminación suficiente.
- e) Asegurarse que el programa de comunicación de riesgos ha sido difundido a todo el personal de la obra.

##### **4.8.1 CONDICIONES DEL SITIO.**

Las condiciones del sitio y del suelo a menudo se ignoran pero son parcialmente responsables de muchos accidentes. Los sitios de la construcción son a menudo suelos vírgenes sin capacidad de soportar materiales y equipos, con accesos limitados. Ignorar estos hechos puede ser costoso.

La disposición de la obra y de las áreas de almacenamiento debe ser adecuada para una segura descarga, acceso y salida.

La plataforma en la que la grúa se coloque debe estar bien nivelada, compactada y suficientemente estable para soportar el peso de la grúa y la carga sin colapsarse o hundirse. La grúa soportará la carga sólo si la base soporta a la grúa cargada.

Cuando se trabaja cerca de una edificación nueva debe esperarse que el suelo esté blando ya que alrededor de la cimentación habrá rellenos sin compactar. Se debe asegurar:

- a) los caminos de acceso y de almacenamiento estén preparados adecuadamente,
- b) existe espacio suficiente para armar, desarmar, erectar y extender la pluma,
- c) si el equipo de montaje se operará sobre una estructura existente, las cargas permisibles estructurales no sean sobrepasadas por las cargas de la grúa cargada,
- d) existe espacio suficiente para que gire el contrapeso,
- e) existan barricadas y señalamientos colocados para evitar la entrada de cualquier persona a la zona de riesgo cerca y especialmente detrás de la grúa,
- f) si la grúa debe viajar con carga, que el camino esté nivelado, compactado y sin obstáculos; para eliminar el riesgo de colapso, también hay que revisar que el trayecto y la zona de trabajo estén suficientemente lejos de andamios y excavaciones, el peso de la grúa y las vibraciones podrían causar derrumbamiento de estas estructuras,
- g) se prohíba o controle adecuadamente el acceso a todo público y personal no esencial en las áreas de montaje,
- h) el sitio ofrezca el claro vertical suficiente para extender la máxima pluma requerida de la grúa,
- i) los gatos de la grúa se puedan extender totalmente. Si la grúa se debe colocar en vía pública, se deben obtener permisos para obstaculizar una línea más de tráfico,
- j) las piezas almacenadas temporalmente estén adecuadamente estibadas en sus puntos de apoyo de acuerdo al diseño y entongadas en forma colineal, sin

sobrepasar la cantidad máxima por estiba especificada para evitar lesiones o ladeos,

k) en operaciones nocturnas el sitio de trabajo esté iluminado suficiente y adecuadamente de forma tal que el operador de la grúa así como el personal de tierra puedan ver todos los movimientos de la grúa, de la pluma, del aguilón y de la carga. No se debe colocar reflector alguno contra la visión del operador.

<b>TIPO DE PIEZA</b>	<b>L &lt; 10 m</b>	<b>10 &lt; L &lt; 20</b>	<b>L &gt; 20 m</b>
<b>LOSA EXTRUIDA</b>	<b>15 MIN</b>	<b>25 MIN</b>	
<b>LOSA TT</b>	<b>20 MIN</b>	<b>35 MIN</b>	
<b>TRABE TP O TR</b>	<b>20 MIN</b>	<b>45 MIN</b>	<b>60 MIN</b>
<b>MURO DE FACHADA</b>	<b>40 MIN</b>	<b>60 MIN</b>	
<b>MURO TT</b>	<b>35 MIN</b>	<b>45 MIN</b>	
<b>TRABE PARA PUENTE</b>	<b>18 MIN</b>	<b>40 MIN</b>	<b>50 MIN</b>

Tabla 3. Ciclos de operación promedio de algunos elementos

#### 4.8.2 CICLOS TÍPICOS DE OPERACIÓN.

##### Ciclos de operación promedio.

En la Tabla (3) se muestran los tiempos promedio en condiciones óptimas que en base a la experiencia se requieren para completar un ciclo completo desde la colocación de la grúa, instalación de estrobos, izaje, colocación en posición de la pieza, liberación y giro para estar en posición para comenzar el ciclo de la siguiente pieza.

Los tiempos considerados son de una obra mediana. Hay que tomar en cuenta que en general, al inicio de cualquier maniobra, el tiempo es mucho mayor mientras que las últimas piezas toman mucho menos tiempo.

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES**

Al analizar y considerar el contenido de los temas de este proyecto, se puede definir y concluir que las estructuras de “Concreto Presforzado”, son una innovación en el diseño y en la construcción de obras civiles, con una versatilidad y calidad que con otros sistemas constructivos no se pueden alcanzar los estándares requeridos, este tipo de elementos prefabricados son la mejor alternativa para los diseños de distintas obras y estructuras.

Es necesario que el ingeniero civil comprenda los conceptos básicos del concreto presforzado para que tenga un buen criterio en el diseño y cálculo de estos elementos, ya que en nuestro país el desarrollo de esta técnica tiene cada vez un auge mayor.

También gracias a la combinación del concreto y el acero de presfuerzo es posible producir en un elemento estructural esfuerzos y deformaciones que se contrarresten total o parcialmente con los producidos por las cargas, lográndose así diseños muy eficientes y elementos que se pueden obtener de mayor esbeltez.

Otra parte del desarrollo de esta investigación es que las piezas presforzadas constan de mejores índices de calidad los cuales ayudan a optimizar los tiempos de proyecto y a disminuir los costos de producción.

Un aspecto más con el que se puede concluir es que son estructuras sustentables y ecológicas que en ciertos aspectos no dañan de manera general al medio ambiente.

Por último podemos observar que con sistemas y diseños de estructuras de Concreto presforzado las ventajas para la construcción de estos son mayores que las desventajas, y la implementación de otros sistemas.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

### **Libros:**

- **A.H. ALLEN**, Introducción al Concreto Presforzado, editorial Limusa, Instituto mexicano del Cemento y del Concreto.
- **ANIPPAC**, Manual De Diseño De Estructuras Prefabricadas Y Presforzadas De Concreto.
- **ARTHUR H. NILSON, DAVID DARWIN**, Diseño De Estructuras de Concreto, edit. Mc Graw Hil.
- **Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.**

### **Páginas web:**

- **<http://www.anippac.org.mx>**  
(ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PRESFUERZO).
- **<http://CIVILGEEKS.COM>**
- **<http://CONCRETOPREFORZADO.WORDPRESS.COM>**
- **<http://ES.SCRIBD.COM/DOC/58412264/PRESFORZADOS>**
- **<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/DISTRITOFEDERAL/normas/DFNORM.pdf>** (NORMAS TECNICAS DE CONSTRUCCIÓN).