

79

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería



REVISIÓN Y CAMBIOS PROPUESTOS A LAS NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS
DEL DISTRITO FEDERAL REFERENTE A ELEMENTOS PRESFORZADOS
Y PREFABRICADOS

T E S I S

Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O C I V I L
P r e s e n t a
Luis Alfonso Magaña Medina

Director de Tesis:

Dr. Eduardo Reinoso Angulo

200525

México D.F., Noviembre ~~2002~~



2001



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/139/98

Señor
LUIS ALFONSO MAGAÑA MEDINA
Presente

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

"REVISION Y CAMBIOS PROPUESTOS A LAS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS DEL DISTRITO FEDERAL REFERENTE A ELEMENTOS PREFORZADOS Y PREFABRICADOS"

- I. ASPECTOS GENERALES
 - II. DISEÑOS DE ELEMENTOS PREFORZADOS
 - III. DISEÑO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS, CONEXIONES Y SOPORTES
 - IV. APLICACIONES A OBRAS CIVILES
 - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA**

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

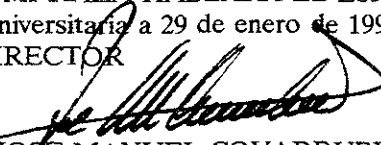
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria a 29 de enero de 1999

EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP/mstg.

A mis padre.
José Cruz y Ana Maria
Por su cariño incondicional y apoyo en todo momento
con cariño para ustedes, Gracias.

A Meche,
Gracias por todo.

A mis hermanos:
Rocío, Guadalupe, José, Hector, Javier y Berenice
Gracias por su apoyo

A mis amigos.
Especialmente a Marciano y Rodrigo

A la familia Sanchez Bretón
Con cariño para ustedes.

A la familia Roel Olivera
Con cariño para ustedes.

A mis maestros
Muchas gracias.

A Rosario:
Por su apoyo y comprensión,
Gracias.

A mis compañeros y amigos de la Facultad:
Erika, Alejandro, Luis y Sergio,
Gracias.

A todos aquellos que omití, pero que los llevo siempre conmigo,
Perdón y muchas gracias.

INDICE

Introducción	IV
Capítulo 1	
ASPECTOS GENERALES	1
1.1 Ventajas y desventajas del uso de elementos presforzados	2
1.2 Pretensado y postensado	3
1.2.1 Pretensado	3
1.2.2 Postensado	3
1.2.3 Elementos pre y postensados	4
1.3 Materiales	4
1.3.1 Concreto	4
1.3.2 Acero de presfuerzo	5
1.3.3 Acero de refuerzo	7
1.3.4 Acero estructural	7
1.3.5 Malla electrosoldada	7
1.4 Diseño	7
1.4.1 Etapas de un elemento presforzado	7
Capítulo 2	
DISEÑO DE ELEMENTOS PRESFORZADOS	
2.1 Generalidades	9
2.2 Definiciones	9
2.3 Notación	10
2.4 Revisión de los estados límite de servicio	11
2.4.1 Esfuerzos permisibles en el concreto	11
2.4.2 Esfuerzos permisibles en los cables de presfuerzo	12
2.4.3 Deflexiones	13
2.4.4 Pérdidas de presfuerzo	13
2.5 Revisión de los estados límite de falla	17
2.5.1 Resistencia a la flexión	17
2.5.2 Elementos en compresión: carga axial y flexión combinadas	19
2.5.3 Fuerza cortante	20
2.5.4 Pandeo debido al presfuerzo	23
2.6 Requisitos complementarios	23
2.6.1 Zona de anclaje	23
2.6.2 Anclaje del acero de presfuerzo y longitud de desarrollo	24
2.6.3 Anclaje y acopladores para postensado	24
2.6.4 Recubrimiento	25
2.6.5 Separación entre tendones	25
2.6.6 Estructuras estáticamente indeterminadas	26
2.6.7 Ductos para postensado	26
2.6.8 Lechada para tendones adheridos	26
2.6.9 Protección de tendones de presfuerzo	27
2.6.10 Aplicación y medición de la fuerza de presfuerzo	27

Capítulo 3

ESTRUCTURAS PREFABRICADAS, CONEXIONES Y SOPORTES

3.1	Generalidades	28
3.2	Definiciones	28
3.3	Notación	29
3.4	Distribución de las fuerzas entre los miembros	29
3.5	Diseño de elementos	29
3.5.1	Integridad estructural	29
3.5.2	Marcado e identificación	30
3.5.3	Maniobras	30
3.5.4	Tolerancias	30
3.5.5	Elementos compuestos sujetos a flexión	30
3.6	Conexiones y soportes	32
3.6.1	Conexiones	32
3.6.2	Conexiones columna-cimentación	33

Capítulo 4

APLICACIONES A OBRAS CIVILES

4.1	Estructuras de edificios	34
4.1.1	Construcciones viga-columna de un solo nivel	35
4.1.2	Construcciones de muros de carga de varios niveles	35
4.1.3	Construcciones viga-columna de varios niveles	35
4.1.4	Sistemas de muros interiores de cortante	35
4.1.5	Sistema de muros de cortante exterior	35
4.1.6	Sistema de marcos rígidos	35
4.1.7	Edificaciones residenciales	36
4.1.8	Edificios de oficinas	36
4.1.9	Almacenes y edificios industriales	36
4.1.10	Otras estructuras de edificios	36
4.2	Estructuras de estacionamientos	36
4.3	Estadios, arenas y graderíos	37
4.4	Puentes	38
4.5	Represas de navegación	38
4.6	Tanques de almacenamiento	38
4.7	Muros de retención de tierras	39
4.8	Túneles	39
4.9	Metropolitano	39
4.10	Cubiertas	40
4.11	Estructuras marinas	40
4.12	Otras estructuras	40

Conclusiones y recomendaciones	41
--------------------------------	----

Bibliografía	42
--------------	----

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las ocasiones en que se consultan las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del D.F. los datos requeridos están contenidos dentro del texto, lo que hace difícil su interpretación. Esto hace necesario, en muchas de las ocasiones, volver a leer el texto una o varias veces para poder comprender la información contenida en el mismo.

El propósito de esta tesis es el de ordenar los conceptos y los temas que integran los capítulos de concreto presforzado y de concreto prefabricado como propuesta para la modificación de las NTC-C (Normas Técnicas Complementarias de Concreto), así como complementarlos en base a los reglamentos del ACI (American Concrete Institute), ASSHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y OHBC (Ontario Highway Bridge Code), así como los manuales PCI (Precast Concrete Institute) y ANIPPAC (Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y la Prefabricación AC). Toda la información obtenida de los reglamentos mencionados es de la última edición de los mismos, por lo que de esta manera se logra una actualización del Reglamento.

En el Capítulo 1 se mencionan las ventajas y las desventajas de los elementos presforzados, pretensados y postensados, se describen los materiales utilizados en la fabricación de los elementos y se mencionan algunas de sus características así como las etapas que se desarrollan durante la vida de los elementos presforzados. En los Capítulos 2 y 3 se presenta una propuesta para modificar las Normas Técnicas Complementarias en relación a los temas de Concreto Presforzado y Concreto Prefabricado respectivamente. El Capítulo 4 se refiere exclusivamente al desarrollo que ha tenido el concreto presforzado/prefabricado y algunas de las aplicaciones que se le han dado.

Los principales subcapítulos que se modificaron para realizar la propuesta fueron los de fuerza cortante, pérdidas de presfuerzo, y los requisitos complementarios. Se omitieron también los temas de losas postensadas, criterios generales de estimación de pérdidas y lo referente a elementos con presfuerzo parcial, ya que para estos últimos su diseño se basa prácticamente en el diseño para elementos reforzados.

En este trabajo se trata de expresar la información contenida en Las Normas Técnicas Complementarias de Concreto en su parte de Concreto Presforzado y Prefabricado de tal manera que se entienda y sea clara para todo aquel que las consulte. Por lo que se expresa esta información por medio de tablas, ecuaciones, gráficas e ilustraciones para facilitar su uso y comprensión.

Capítulo 1

ASPECTOS GENERALES

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 verticales que actúan en el elemento, lográndose así diseños más eficientes.

En la Figura 1.1 se muestran los diagramas de momentos debidos a carga vertical y al presfuerzo para una viga simplemente apoyada. La carga vertical es la misma para las tres vigas; sin embargo, los diagramas de momento debidos a la fuerza de presfuerzo son distintos. La viga I tiene presfuerzo axial, es decir, el centro de gravedad de los torones se encuentra en el eje neutro de la sección. Aparentemente, no existe ventaja alguna al colocar presfuerzo axial. La viga II muestra un diagrama de momento constante debido a que el presfuerzo se aplica con excentricidad y su trayectoria es recta a lo largo de toda la viga, en los extremos no existe momento por cargas que disminuya la acción del presfuerzo, por lo que éste se deberá suprimir con encamisados o dispositivos similares. Por último, en la viga III se tiene una distribución de momentos debida al presfuerzo similar a la curva provocada por la carga vertical; el presfuerzo así colocado contrarresta el efecto de las cargas en cada sección de la viga

La Figura 1.2 muestra los diagramas de esfuerzos para las mismas vigas de la Figura 1.1 tanto al centro del claro como en los extremos. Al centro del claro se aprecia que el comportamiento de la viga I mejora con el presfuerzo, aunque este sea sólo axial, ya que las tensiones finales que se presentan en la fibra inferior son menores que para una viga sin presforzar; para las otras dos vigas estos esfuerzos son todavía menores por el momento debido al presfuerzo excéntrico. En los extremos, las vigas I y III tienen esfuerzos sólo de compresión, mientras que la viga II presenta esfuerzos de tensión y compresión, estos últimos mayores a los de las otras dos vigas debido a la existencia de presfuerzo excéntrico.

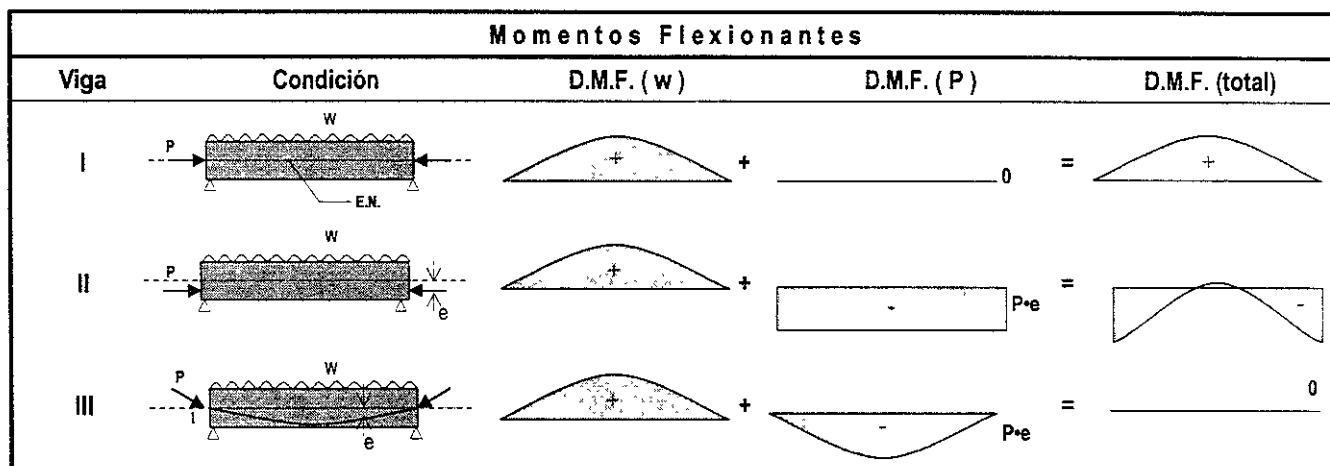


Figura 1.1 Momentos flexionantes a lo largo de vigas presforzadas simplemente apoyadas

		Esfuerzos								
Viga	Condición	AL CENTRO DEL CLARO				EN EL EXTREMO				
		Carga (W)	Presfuerzo Axial	Presfuerzo Excéntrico	Total	Carga (W)	Presfuerzo Axial	Presfuerzo Excéntrico	Total	
I			-		+ 0 =		0 -	+	0 =	
II			-		+	=	0 -	+		=
III			-		+	=	0 -	+	0 =	

Figura 1.2 Esfuerzos al centro del claro y en los extremos de vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad

1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE ELEMENTOS PRESFORZADOS

De acuerdo con lo anterior, la deformación y el agrietamiento de elementos presforzados disminuyen por la compresión y el momento producidos por los tendones, lo que se traduce en elementos más eficientes. Esto se aprecia esquemáticamente en la Figura 1.3 que muestra la comparación del estado de deformación y agrietamiento de dos vigas, una de concreto reforzado y otra de concreto presforzado, sometidas ante la misma carga vertical.

Algunas ventajas del concreto presforzado son las siguientes:

- Mejor comportamiento ante cargas de servicio por el control del agrietamiento y la deflexión
- Permite la utilización óptima de materiales de alta resistencia
- Se obtienen elementos más eficientes y esbeltos, con menos empleo de material; en vigas, por ejemplo, se utilizan peraltes del orden de $L/20$, a diferencia de $L/10$ en concreto reforzado
- La producción en serie en plantas permite mayor control de calidad y abatimiento de costos
- Mayor rapidez de construcción al realizarse al mismo tiempo varios frentes o construirse simultáneamente distintas partes de la estructura; esto en general conlleva importantes ventajas financieras

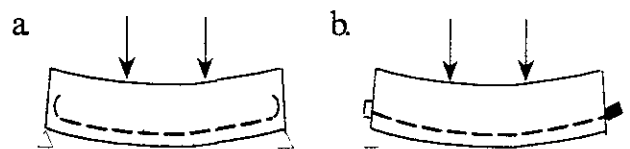


Figura 1.3 Deformación y agrietamiento en vigas de:
(a) Concreto reforzado
(b) Concreto presforzado

Conviene también mencionar algunas desventajas que en ocasiones pueden surgir en ciertas obras. Estas son:

- La falta de coordinación en el transporte de los elementos prefabricados puede encarecer el montaje.
- En general, la inversión inicial es mayor por la disminución en los tiempos de construcción
- Se requiere también de un diseño relativamente especializado de conexiones, uniones y apoyos
- Planeación cuidadosa del proceso constructivo, sobre todo en las etapas de montaje y colados in situ

Existen aplicaciones que solo son posibles gracias al empleo del presfuerzo. Este es el caso de puentes sobre avenidas con tránsito intenso o de claros muy grandes, algunas naves industriales o donde se requiere de una gran rapidez de construcción, entre otras.

1.2 PRETENSADO Y POSTENSADO

Los conceptos mencionados anteriormente son igualmente válidos para las dos formas en las que se puede presforzar un elemento estructural. Sin embargo es importante diferenciar las características de estos dos sistemas

En general, existen aplicaciones y elementos que solo son posibles ya sea para pretensado o postensado. Se prefiere utilizar elementos pretensados cuando se aprovecha la producción en serie y se desea mayor rapidez de construcción, que no sobrepase la capacidad de las mesas y que los elementos se puedan transportar por carreteras y avenidas existentes.

1.2.1 PRETENSADO

El término pretensado se usa para describir el método de presfuerzo en el cual los tendones se tensan antes de colar el concreto. Se requiere de moldes o muertos (bloques de concreto enterrados en el suelo) que sean capaces de soportar el total de la fuerza de presfuerzo durante el colado y curado del concreto antes de cortar los tendones y que la fuerza sea transmitida al elemento. La mayoría de los elementos presforzados se fabrican en serie dentro de plantas con instalaciones adecuadas, donde se logra la reutilización de moldes y se pueden presforzar varios elementos a la vez. Los elementos mas comunes son viguetas, trabes, losas y gradas, y las aplicaciones se hacen a edificios, naves y puentes.

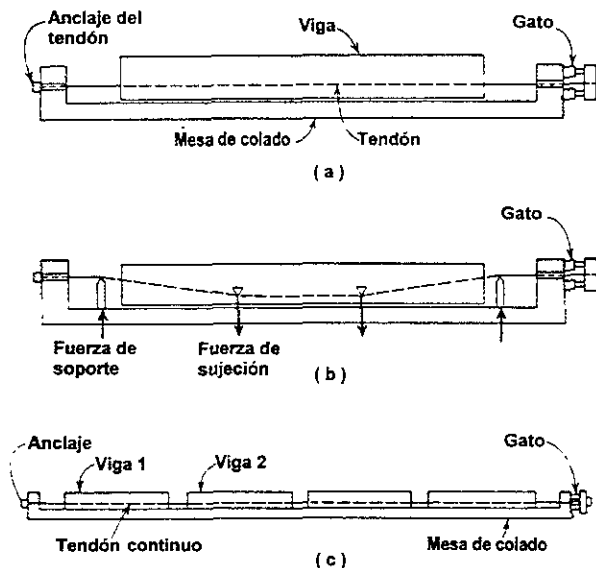


Figura 1.4 Fabricación de un elemento pretensado

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

El curado de los elementos se realiza con vapor de agua cubriéndolos con lonas. La acción del presfuerzo en el concreto es interna ya que el anclaje se da por adherencia. Las trayectorias del presfuerzo son siempre rectas y en moldes adaptados es posible hacer desvíos para no provocar esfuerzos excesivos en los extremos (Figuras 1.1 y 1.2). En aquellas secciones donde el presfuerzo resulte excesivo, como en los extremos de vigas simplemente apoyadas sin desvío de torones, se debe disminuir la fuerza presforzante y encamisar algunos de ellos. En la Figura 1.4 se muestran las posibles trayectorias de estos elementos así como un ejemplo de la producción en serie en mesas de gran tamaño, mayores de 100 m de longitud.

1.2.2 POSTENSADO

El postensado es el método de presfuerzo que consiste en tensar los tendones y anclarlos en los extremos de los elementos después de que el concreto ha fraguado.

Previo al colado del concreto, se dejan ductos perfectamente fijos con la trayectoria deseada, lo que permite variar la excentricidad dentro del elemento a lo largo del mismo para lograr las flechas y los esfuerzos deseados. Los ductos serán rellenados con mortero o lechada una vez que el acero de presfuerzo haya sido tendido y anclado. Las funciones primordiales del mortero son las de proteger al presfuerzo de la corrosión y evitar movimientos relativos entre los torones durante

cargas dinámicas; sin embargo, este mortero contribuye a aumentar la resistencia máxima a la flexión.

En el postensado la acción del presfuerzo es externa y los tendones se anclan al concreto con dispositivos mecánicos especiales o anclajes generalmente colocados en los extremos del tendón. Este método puede emplearse tanto para elementos fabricados en planta, a pié de obra o colados en sitio.

Las aplicaciones más usuales son para vigas de grandes dimensiones, dovelas para puentes, losas con presfuerzo bidireccional, diafragmas de puentes, vigas hiperestáticas, cascarones y tanques de agua, entre otros. Las trayectorias del presfuerzo pueden ser curvas, lo que permite diseñar con mayor eficiencia elementos hiperestáticos y evitar esfuerzos indeseables en los extremos (Figura 1.5).

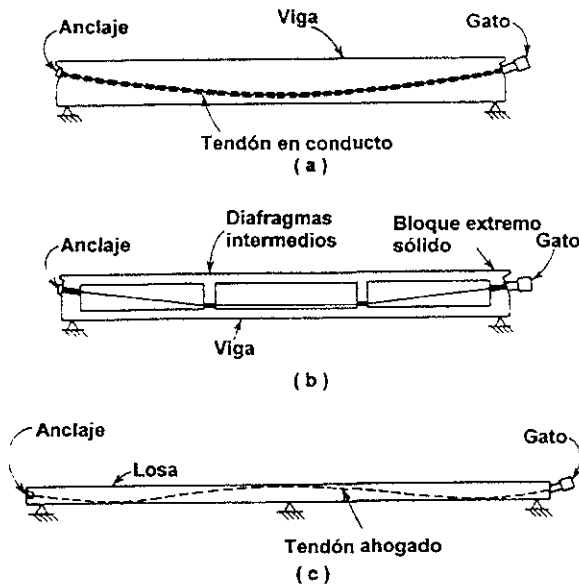


Figura 1.5 Trayectorias típicas de tendones en vigas postensadas

1.3.1 CONCRETO

El concreto que se usa para presforzar se caracteriza por tener mayor calidad y resistencia con respecto al utilizado en construcciones ordinarias. Los valores comunes de f_c' oscilan entre 350 y 500 kg/cm², siendo el valor estándar 350 kg/cm². Se requiere esta resistencia para poder hacer la transferencia del presfuerzo cuando el concreto haya alcanzado una resistencia de 280 Kg/cm². El aumento en calidad generalmente conduce a resultados más económicos ya que permite la reducción de las dimensiones de la sección de los miembros utilizados. Con ello, se logran ahorros significativos en peso propio, y grandes claros resultan técnica y económicamente posibles. Las deflexiones y el agrietamiento del concreto pueden controlarse y hasta evitarse mediante el presfuerzo. Es posible el uso de aditivos y agregados específico, especialmente en elementos arquitectónicos. El proporcionamiento del concreto debe hacerse para una resistencia media mayor que la especificada, f_c' , para que posibles variaciones en la fabricación del concreto nunca arrojen f_c' menor al especificado.

CONTRACCIÓN POR SECADO

Las mezclas de concreto contienen mayor cantidad de agua que la requerida para la hidratación del cemento. Esta agua libre se evapora con el tiempo. La velocidad y terminación del fraguado dependen de la humedad, la temperatura ambiente y del tamaño y forma del elemento. Uno de los efectos del fraguado del concreto es la disminución de su volumen lo que provoca pérdidas considerables de la fuerza de presfuerzo. Asimismo, la contracción provoca grietas que deben evitarse con acero de refuerzo y en algunos casos con fibras y aditivos.

La contracción del concreto es proporcional a la cantidad de agua empleada en la mezcla; si se requieren contracciones mínimas, la relación agua-cemento a utilizar deberá ser la mínima, con revenimientos no mayores que 10 cm. La calidad de los agregados es otro factor que influye en la contracción por secado. Agregados duros y densos de baja absorción y módulo de elasticidad de valor alto provocarán una contracción menor.

1.2.3 ELEMENTOS PRE Y POSTENSADOS

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

1.3 MATERIALES

Todos los materiales empleados para fabricar los elementos de concreto, deberán cumplir con la Norma Oficial Mexicana (NOM) o Norma Mexicana (NMX).

La magnitud de la deformación unitaria por contracción, ε_c , varía desde cero, si el concreto es almacenado bajo el agua o en condiciones muy húmedas, hasta 0.001 en ambientes muy secos. Con propósitos de diseño, un valor promedio de deformación por contracción será de 0.0002 a 0.0006 para las mezclas usuales de concreto empleadas en elementos presforzados. Las Normas Técnicas Complementarias para estructuras de Concreto (NTC-C) establecen un valor de $\varepsilon_c = 0.001$

COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

Convencionalmente y por razones prácticas, podemos considerar que la parte ascendente de la gráfica esfuerzo-deformación del concreto exhibe un comportamiento elástico, aunque se sabe que no siempre estas deformaciones son recuperables y la gráfica no es una línea recta perfecta. Esta consideración nos permite hacer diseños elásticos y fijar un módulo de elasticidad en función de la resistencia del concreto, f_c'

La NTC-C establece para concretos tipo I, que es el empleado en concreto presforzado, el siguiente valor de módulo de elasticidad

$$E_c = 14000\sqrt{f_c'}; \quad (f_c' \text{ en kg/cm}^2)$$

Al igual que ocurre con otros materiales elásticos, cuando el concreto se comprime en una dirección se expande en la dirección transversal a la del esfuerzo aplicado. La relación entre la deformación transversal y la longitudinal se conoce como relación de Poisson y su valor varía de 0.15 a 0.20. Este efecto puede modificar sensiblemente el presfuerzo en elementos con presfuerzo biaxial.

DEFORMACIONES POR FLUJO PLÁSTICO

Debido a la presencia de esfuerzos permanentes, las partículas que forman el concreto experimentan un reajuste que modifica las dimensiones de los elementos. A este fenómeno se le conoce como flujo plástico.

El flujo plástico en el concreto depende de la magnitud de las cargas permanentes, de las proporciones de la mezcla, de la humedad, de las condiciones del curado y de la edad del concreto a la cual comienza a ser cargado. La deformación de compresión ocasionada por el flujo plástico tiene un efecto importante en el presfuerzo provocando una disminución o pérdida de la fuerza efectiva. Las NTC-C proponen la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de deformación axial diferido final (C_f),

$$C_f = \frac{\delta_f - \delta_i}{\delta_i}$$

donde δ_f y δ_i son las deformaciones final e inmediata, respectivamente

1.3.2 ACERO DE PRESFUERZO

El acero de presfuerzo es el material que va a provocar de manera activa momentos y esfuerzos que contrarresten a los causados por las cargas. Existen tres formas comunes de emplear el acero de presfuerzo: alambres, torón y varillas de acero de aleación.

ALAMBRES

Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener alambres redondos que, después del enfriamiento, pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta su tamaño requerido. El proceso de estirado, se ejecuta en frío lo que modifica notablemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia. Posteriormente se les libera de esfuerzos residuales mediante un tratamiento continuo de calentamiento hasta obtener las propiedades mecánicas prescritas. Los alambres se fabrican en diámetros de 3, 4, 5, 6, 7, 9.4 y 10 mm y las resistencias varían desde 16000 hasta 19000 kg/cm². Los alambres de 5, 6 y 7 mm pueden tener acabado liso, dentado y tridentado.

TORÓN

El torón se fabrica con siete alambres firmemente torcidos (Figura 1.6) cuyas características se mencionaron en el párrafo anterior; sin embargo, las propiedades mecánicas mejoran notablemente, sobre todo la adherencia. El paso de la espiral de torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. La resistencia a la ruptura, f_{sr} , es de 19000 kg/cm² para el grado 270K (270000 lb/pulg²), que es el más utilizado actualmente. Los torones pueden obtenerse entre un rango de tamaños que va desde 3/8" hasta 0.6 pulgadas de diámetro, siendo los más comunes los de 3/8" y de 1/2" con áreas nominales de 54.8 y 98.7 mm², respectivamente. Actualmente los torones se fabrican de tal manera que se ha reducido la relajación aproximadamente a la mitad por lo que se le conoce como Acero de Baja Relajación o LO-LAX.

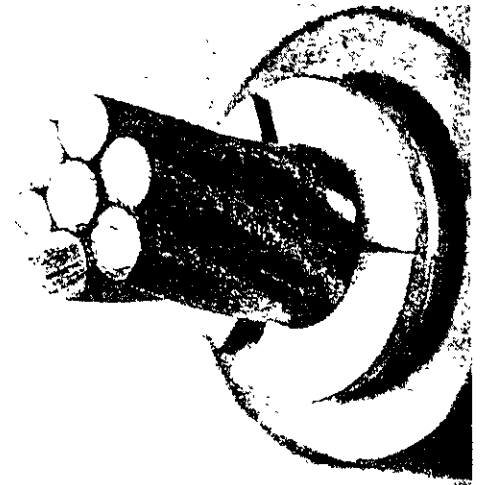


Figura 1.6 Torón utilizado en concreto presforzado

VARILLAS DE ACERO DE ALEACIÓN

La alta resistencia en varillas de acero se obtiene mediante la introducción de algunos minerales de ligazón durante su fabricación. Adicionalmente se efectúa trabajo en frío en las varillas para incrementar aún más su resistencia. Después de estirarlas en frío se les libera de esfuerzos para obtener las propiedades requeridas. Las varillas de acero de aleación se producen en diámetros que varían de 1/2" hasta 13/8".

CARACTERÍSTICAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO DE PRESFUERZO

El acero de presfuerzo no presenta un esfuerzo de fluencia definido. Usualmente en alambres se calcula con una paralela a la parte elástica partiendo de una deformación del 0.2 por ciento. Otra manera sugerida inclusive por la NTC-C en torones es el esfuerzo correspondiente a una deformación del 1 por ciento. Para alambres redondos lisos el módulo de elasticidad es semejante al del refuerzo ordinario, esto es, alrededor de 2.0×10^6 kg/cm². Para torón y para varillas de aleación el módulo de elasticidad es del orden de 1.9×10^6 kg/cm². Después del inicio de la fluencia del acero, los alambres muestran una fluencia gradual y la curva continua creciendo hasta la falla. Las varillas de aleación tienen características similares a aquellas de los alambres redondos o de los torones, pero sus límites proporcionales y resistencias son de 30 a 40 por ciento menores. El esfuerzo máximo al que se tensan los torones es $0.7 f_{sr}$, y el esfuerzo final efectivo es $f_{se} = k_p \cdot 0.7 f_{sr}$, donde k_p es un factor que considera las pérdidas y comúnmente oscila entre 0.7 y 0.85, lo que implica de 15 a 30 por ciento de pérdidas.

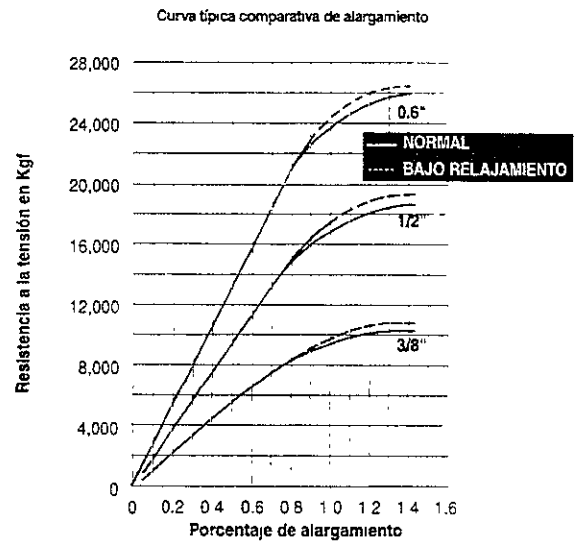


Figura 1.7 Curva fuerza-deformación para tres torones

RELAJACIÓN DEL ACERO

Cuando al acero de presfuerzo se le mantiene en tensión experimenta un acomodamiento y rompimiento interno de partículas conocido como relajación. Esta relajación debe tomarse en cuenta en el diseño ya que produce una pérdida significativa de la fuerza presforzante. En la actualidad la mayoría de los aceros son de baja relajación y deben de preferirse sobre los aceros normales para evitar pérdidas excesivas.

1.3.3 ACERO DE REFUERZO

El uso del acero de refuerzo ordinario es común en elementos de concreto presforzado. Este acero es muy útil para

- aumentar ductilidad
- aumentar resistencia
- resistir esfuerzos de tensión y compresión
- resistir cortante
- resistir torsión
- restringir agrietamiento
- reducir deformaciones a largo plazo
- confinar el concreto

1.3.4 ACERO ESTRUCTURAL

En muchos elementos prefabricados es común el uso de placas, ángulos y perfiles estructurales de acero. Éstos son empleados en conexiones, apoyos y como protección. El esfuerzo nominal de fluencia de este acero es de 2530 kg/cm².

1.3.5 MALLA ELECTROSOLDADA

Por su fácil colocación, las retículas de alambre o mallas electrosoldadas se emplean comúnmente en aletas de travesaños, doble te y similares. El esfuerzo nominal de fluencia es de 5000 kg/cm². La nominación más común de los distintos tipos de malla es como sigue:

$$S_L \times S_T - C_L / C_T$$

en donde S es la separación en pulgadas, C es el calibre y L y T son las direcciones longitudinal y transversal, respectivamente. La malla que más se utiliza es la 6x6-6/6.

1.4 DISEÑO

El diseño de elementos de concreto presforzado consiste en proponer el elemento que sea funcional y económicamente óptimo, para determinadas acciones y características geométricas de la obra. Una vez escogido el elemento, el diseño consiste en proporcionar los aceros de presfuerzo y de refuerzo para que tenga un comportamiento adecuado durante todas sus etapas dentro del marco de un reglamento vigente. Es claro que ante esta perspectiva, el elemento o sección típica a utilizar no es una incógnita sino un dato que el diseñador de acuerdo a sus conocimientos y experiencia debe proporcionar.

1.4.1 ETAPAS DE UN ELEMENTO PRESFORZADO

Un elemento presforzado, y en general cualquier elemento prefabricado, está sometido a distintos estados de carga. Estos estados pueden representar condiciones críticas para el elemento en su conjunto o para alguna de sus secciones. En general, existirán dos etapas importantes de revisión, de transferencia y final, aunque para muchos elementos existen etapas intermedias que resultan

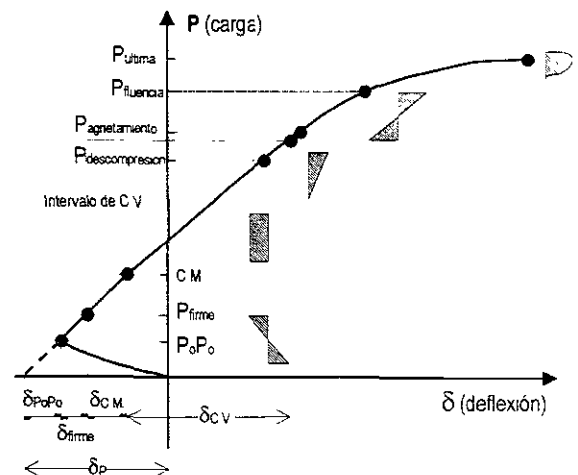


Figura 1.8 Gráfica carga-deflexión de una viga presforzada típica

críticas. En la Figura 1.8 se muestran estas etapas en una gráfica carga-deflexión en donde se indican además los estados de esfuerzos en la sección de momento máximo

ETAPA DE TRANSFERENCIA

Esta tiene lugar cuando se cortan los tendones en elementos pretensados o cuando se libera la presión en el gato hacia los anclajes en concreto postensado. Es decir, cuando se transfieren las fuerzas al concreto que comúnmente ha alcanzado el 80 por ciento de su resistencia. Aquí ocurren las pérdidas instantáneas y las acciones a considerar son el presfuerzo que actúa en ese instante y el peso propio del elemento. Como se explicó en las primeras páginas de este capítulo, esta etapa puede ser crítica en los extremos del elemento donde el presfuerzo es excesivo. Dado que a la acción del presfuerzo solo se contrarresta la del peso propio del elemento, generalmente, como se indica en la Figura 1.8, en esta etapa se presentará la contraflecha máxima.

ESTADO INTERMEDIO

Dentro de esta etapa se presenta el transporte y montaje del elemento, donde se debe tener cuidado en no modificar los apoyos para no alterar su estado estático. Algunas vigas para puente son tan largas que es necesario dejar volado uno de los extremos para que se puedan transportar.

Muchos elementos presforzados tienen un comportamiento en etapas intermedias distinto al que tienen en transferencia o en el estado final. Tal es el caso de algunas viguetas, trabes y losa que, antes de que la sección compuesta esté lista para soportar cargas, requieren de cimbrado temporal que es removido cuando los colados in situ y la losa o el firme han fraguado. Otro tipo de elementos con tratamiento especial son las vigas que fueron fabricadas, transportadas y montadas como simplemente apoyadas pero que en la etapa final formarán parte de un sistema hiperestático.

En la Figura 1.8 se aprecia como a medida que el elemento es cargado con el firme y la sobrecarga muerta, la contraflecha desaparece hasta que, generalmente con la presencia de la carga viva, se presenta una flecha hasta el punto de descompresión o cuando se presentan tensiones en la fibra inferior del elemento.

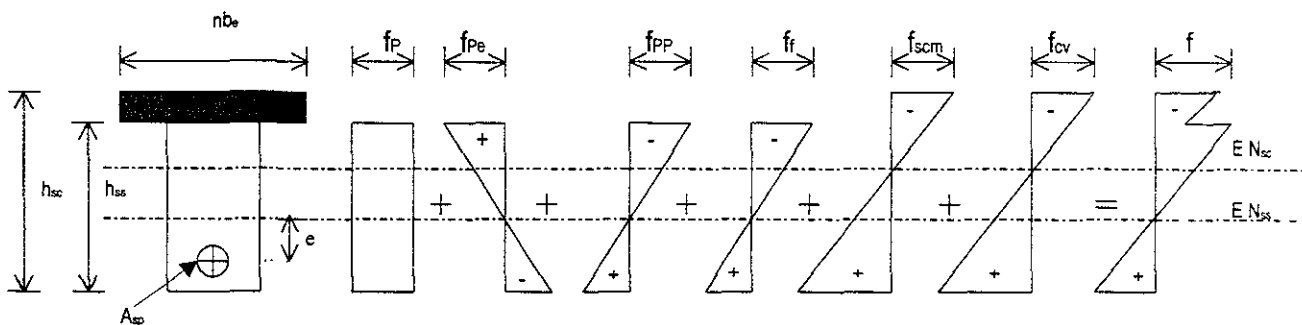


Figura 1.9 Esfuerzos en cualquier sección de la viga tanto en la etapa simple como en la compuesta

ETAPA FINAL

El diseñador debe considerar las distintas combinaciones de cargas en la estructura en general y en cada elemento en particular para garantizar el comportamiento adecuado de los elementos. Se considerarán las condiciones de servicio tomando en cuenta esfuerzos permisibles, deformaciones y agrietamientos, y las condiciones de resistencia última de tal manera que además de alcanzar la resistencia adecuada se obtenga en la ruptura una falla dúctil. En esta etapa se tienen todas las pérdidas de presfuerzo y en la mayoría de los casos el elemento presforzado se encuentra trabajando en conjunto con el firme colado in situ, lo que incrementa notablemente su inercia y resistencia. En la Figura 1.8 se indican, a partir de la carga de descompresión, los distintos estados finales que se deben considerar en el diseño.

Capítulo 2

DISEÑO DE ELEMENTOS PRESFORZADOS

2.1 GENERALIDADES

Las disposiciones contenidas en otras partes de estas normas que no contradigan los requisitos de este capítulo serán aplicables al concreto presforzado. En la fabricación de elementos presforzados, se usará concreto clase I (véase 1.4.1 Consideraciones Generales. Materiales; Concreto, NTC-C) y se emplearán alambres, torones o barras conforme a las disposiciones para tendones presforzados en 1.4.2 (Consideraciones generales. Materiales; acero, NTC-C). En elementos de concreto presforzado deben revisarse los estados límite de falla y los de servicio y las concentraciones de esfuerzos debidos al presfuerzo en todas las etapas durante la vida útil del elemento desde que el presfuerzo fue aplicado por primera vez.

Las disposiciones de este capítulo fueron desarrolladas principalmente para miembros estructurales como losas, vigas y columnas comúnmente usados en las construcciones. Sin embargo, a juicio del ingeniero en los casos no específicamente citados, muchas de estas disposiciones pueden aplicarse a otros tipos de construcciones tales como conductos a presión, pavimentos, tuberías y durmientes.

2.2 DEFINICIONES

Zona de tensión precomprimida: Porción de la sección transversal del miembro en la cual ocurre tensión por flexión bajo cargas vivas y muertas. El concreto presforzado es usualmente diseñado de tal manera que la fuerza de presfuerzo introduzca compresión en esta zona para reducir la magnitud del esfuerzo de tensión.

Medio ambiente corrosivo: Donde ocurren ataques químicos tales como los de agua de mar, atmósferas industriales, gases de aguas residuales u otros medios altamente corrosivos.

Sección T: Aquella en la que el bloque de compresión en flexión se aplica en un ancho mayor al ancho del alma.

Etapas principales: 1. Aplicación de la fuerza del gato o etapa de transferencia del presfuerzo 2. etapa de carga de servicio 3. etapa de carga factorizada.

Tendón: Nombre genérico para designar al alambre, torón o barra, o paquetes de tales elementos, usados para dar presfuerzo al concreto.

2.3 NOTACIÓN

A	área neta de la sección transversal	f_{sc}	esfuerzo efectivo, kg/cm^2
A_s	área de acero ordinario a tensión	H	promedio anual de la humedad relativa del ambiente en porcentaje
A_{sp}	área de acero presforzado en la zona de tensión	h	peralte total de la sección transversal del elemento
A_v	área transversal del refuerzo por tensión diagonal comprendido en una distancia s , en cm^2	K	coeficiente de fricción secundario o de balance, $1/m$
b	ancho de la sección transversal rectangular o ancho del patín a compresión en vigas T , I o L , en cm	K_{cr}	Para concreto de peso normal es igual a 2.0 y para concreto ligero es igual a 1.6
b'	ancho del alma de una sección T , I o L en cm	L	longitud del tendón o del elemento
b_f	ancho del patín que se considere trabajando en compresión en secciones L y T a cada lado del alma	M	momento flexionante que actúa en la sección
d	peralte efectivo del acero de refuerzo, distancia entre el entroide del acero de tensión y la fibra extrema de compresión en cm	M	momentos debidos a las cargas aplicadas
d_p	distancia de la fibra extrema en compresión al centroide de todos los tendones de presfuerzo, cm , $\leq 0.8h$	M_{agr}	momento de agrietamiento de la sección
d_s	distancia entre la fibra extrema a compresión y el centroide del acero ordinario a tensión	M_{cr}	momento de agrietamiento
d_b	diámetro nominal del torón, cm	M_R	momento resistente de la sección
e	excentricidad del acero de presfuerzo, cm	M_{RP}	momentos resistentes suministrados por el acero presforzado
E_c	Módulo de elasticidad del concreto a los 28 días	M_{Rr}	momentos resistentes suministrados por el acero sin presforzar
E_{cc}	módulo de elasticidad del concreto en la transferencia	M_{sd}	momento debido a todas las sobrecargas muertas permanentes aplicadas después del presfuerzo
E_p	módulo de elasticidad del acero de presfuerzo	M_u	momento último
F_R	factor de reducción	M_1	momento de servicio debido al peso propio y al firme. $M_2 = \left[2 \cdot \bar{f}'_c - \frac{M_1}{S_{ISS}} + \frac{Pe}{S_{ISS}} + \frac{P}{A} \right] S_{ISC}$
f'_c	resistencia especificada del concreto a compresión, kg/cm^2	M_2	momento de servicio para alcanzar el momento de agrietamiento en secciones compuestas
f'_c''	$(1.05 - (f'_c/1250))f'_c \leq 0.85f'_c$	N	número de torones idénticos
f'_c^*	resistencia nominal del concreto a compresión, kg/cm^2	p	cuantía de acero de refuerzo a tensión
f_{cgp}	esfuerzo de compresión neto en el concreto en el centro de gravedad de los tendones inmediatamente después de aplicar el presfuerzo al concreto	p'	cuantía de acero de refuerzo a compresión
f_{cc}	esfuerzo de compresión en el centroide del concreto debido a la fuerza pretensora efectiva.	p_p	cuantía de acero presforzado
f_{cr}'	resistencia a compresión del concreto a la edad en que ocurre la transferencia, kg/cm^2	S_r	módulo de sección
f_{sp}	esfuerzo en el acero presforzado cuando se alcanza la resistencia del elemento, kg/cm^2	S_{isc}	módulo de sección de la fibra inferior de la sección compuesta
f_{sr}	esfuerzo resistente en el acero de presfuerzo	S_{iss}	módulo de sección de la fibra inferior de la sección simple
f_{py}	esfuerzo de fluencia del acero ordinario	t	espesor del patín en vigas tipo T
f_y	esfuerzo de fluencia del acero en kg/cm^2	th	tiempo estimado desde el esforzado hasta la transferencia, horas
\bar{f}_t	módulo de ruptura no reducido del concreto	V	fuerza cortante que actúan en la sección
f_t	esfuerzo en el acero de presfuerzo al aplicar los gatos, kg/cm^2	V_p	componente vertical de la fuerza pretensora efectiva en la sección sin factor de carga y tomando en cuenta la longitud de adherencia
		V_{pp}	cortante debido al peso propio del miembro y al peso de la sección compuesta
		V_u	fuerza cortante de diseño en kg
		V_{cr}	fuerza cortante de diseño que toma el concreto, kg
		x	longitud de un tendón de presfuerzo de la esquina del gato a cualquier punto en consideración (m)

ΔPT	pérdida total		presfuerzo a la esquina del gato, o de la esquina mas cercana del gato si el tensado se hace igual en ambas esquinas, desde el punto bajo consideración, rad
ΔFR	pérdida debido a fricción		
ΔDA	pérdida debido al deslizamiento del anclaje		
ΔAE	pérdida debido al acortamiento elástico		
ΔDT	pérdida debido al desvío de torones	ΔL	cantidad de deslizamiento
ΔCC	pérdida debido a la contracción del concreto	μ	coeficiente de fricción primario o por curvatura intencional (1/rad)
ΔFP	pérdida debido al flujo plástico del concreto	ϕ	diámetro del tendón.
$\Delta RE1$	pérdida debido a la relajación instantánea del acero	ϕ_b	diámetro de la barra más gruesa del paquete
$\Delta RE2$	pérdida debido a la relajación diferida del acero	θ	ángulo de inclinación de la línea centroidal del tendón en la sección
α	suma de los valores absolutos del cambio angular de la trayectoria del acero de		

2.4 REVISIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Las deflexiones y el agrietamiento bajo las condiciones de carga que puedan ser críticas durante el proceso constructivo y la vida útil de la estructura no deben exceder los valores que en cada caso se consideren aceptables. Cuando sea significativo, se revisarán los efectos de fatiga. La revisión de estados límite de servicio no garantiza una adecuada resistencia estructural; ésta deberá revisarse en conformidad con otros requisitos del reglamento (2.5 Revisión de estados límite de falla).

En elementos presforzados, una forma indirecta de lograr que el agrietamiento y las pérdidas por flujo plástico no sean excesivas es obligar que los esfuerzos en condiciones de servicio se mantengan dentro de ciertos límites. Para este fin, al dimensionar o al revisar esfuerzos, se usará la teoría elástica del concreto y la sección transformada. En estas operaciones no se emplean secciones ni esfuerzos reducidos ni factores de reducción.

2.4.1 ESFUERZOS PERMISIBLES EN EL CONCRETO

Los esfuerzos en el concreto no deberán exceder lo indicado en la Tabla 2.1, donde f_{ca}' es la resistencia a compresión del concreto a la edad en que ocurre la transferencia.

EN LA TRANSFERENCIA

La transferencia ocurre antes de las pérdidas diferidas de presfuerzo; esto es en concreto pretensado cuando se cortan los tendones o se disipa la presión del gato, y en postensado cuando se anclan los tendones. Los esfuerzos del concreto en esta etapa son provocados, tanto en concreto pretensado como postensado, por los esfuerzos debidos al peso del elemento y por la fuerza en los tendones de presfuerzo, reducida por las pérdidas inmediatas debidas al acortamiento elástico del concreto, relajación instantánea de los tendones, deslizamiento del anclaje y fricción. Cuando los esfuerzos de tensión calculados excedan los valores de la Tabla 2.1, deberá proporcionarse refuerzo auxiliar adherido en esa zona (no presforzado o presforzado) para resistir el total de la fuerza de tensión en el concreto considerando la sección no agrietada. El esfuerzo de este acero de refuerzo debe tomarse como $0.6 f_y$.

En los extremos de elementos simplemente apoyados se permite usar $1.6 \sqrt{f_{ca}'}$ en la transferencia ya que los torones no están completamente adheridos. Una vez que los torones han alcanzado la adherencia total como lo indica 2.6.2 (Longitud de adherencia y de desarrollo) el esfuerzo debe tomarse como $0.8 \sqrt{f_{ca}'}$.

BAJO CARGAS DE SERVICIO

El esfuerzo permisible de tensión de $1.6 \sqrt{f_c'}$ bajo cargas de servicio, es compatible con el recubrimiento de concreto requiendo en la sección 2.1.6.d (Requisitos complementarios, recubrimiento NTC-C), y es válido para la zona de tensión precomprimida, que es donde ocurren las tensiones bajo cargas verticales muertas y vivas. En condiciones de medio ambiente corrosivo, debe utilizarse un mayor recubrimiento de acuerdo con los valores establecidos, y deben reducirse los esfuerzos de tensión para eliminar el posible agrietamiento bajo cargas de servicio. El ingeniero debe aplicar criterios adecuados a fin de determinar el incremento en el recubrimiento y si es que se requieren esfuerzos de tensión reducidos.

El esfuerzo de tensión permisible bajo cargas de servicio puede considerarse de $3.2 \sqrt{f_c'}$, lo que proporciona al elemento un mejor comportamiento, especialmente cuando las cargas vivas son de naturaleza transitoria. Para aprovechar este incremento, se debe analizar el comportamiento de la sección agrietada transformada y que las relaciones bilineales momento-deflexión indiquen que las deflexiones en las distintas etapas del elemento están por debajo de las permisibles. Además, se deberá incrementar la protección de concreto sobre el refuerzo, como se indica en la sección 2.6.4 (Recubrimiento), y calcular las características de deflexión del elemento, bajo la carga en la que este cambia de comportamiento no agrietado a comportamiento agrietado.

De acuerdo con los esfuerzos de la Tabla 2.1, bajo cargas de servicio se permite incrementar de $0.45 f_c'$ a $0.6 f_c'$ el esfuerzo permisible a compresión del concreto ante cargas vivas, ya que por su naturaleza transitoria éstas no causarán flujo plástico en el concreto ni deflexiones permanentes.

Para nuevos productos, materiales y técnicas en la construcción de concreto preforzado, los esfuerzos permisibles de la Tabla 2.1 podrán ser excedidos si se demuestra mediante pruebas o análisis que su eficiencia y funcionalidad serán adecuadas.

Tabla 2.1 ESFUERZOS PERMISIBLES EN EL CONCRETO

Inmediatamente después de la transferencia		Bajo cargas de servicio	
Fibra extrema en compresión	$0.60 f_c'$	Fibra extrema en compresión: debido al presfuerzo más las cargas sostenidas	$0.45 f_c'$
		debido al presfuerzo más la carga total	$0.60 f_c'$
Fibra extrema en tensión	$0.80 \sqrt{f_c'}$	Fibra extrema en tensión	$1.6 \sqrt{f_c'}$
Fibra extrema en tensión en extremos de miembros simplemente apoyados	$1.6 \sqrt{f_c'}$		

2.4.2 ESFUERZOS PERMISIBLES EN LOS CABLES DE PRESFUERZO

Los tendones deben tensarse de manera que el esfuerzo efectivo final sea al menos de $0.5 f_{sr}$.

El esfuerzo de tensión en los cables de presfuerzo no deberá exceder lo indicado en la Tabla 2.2. En estas expresiones, f_{sr} es el esfuerzo resistente del acero de presfuerzo y f_{py} es el esfuerzo de fluencia. La diferencia entre 0.74 y 0.80 de f_{sr} entre el tensado e inmediatamente después de la transferencia nos permite tensar el torón entre $0.74 f_{sr}$ y $0.8 f_{sr}$ para que al cortar los torones y después de que se presenten las pérdidas instantáneas se cuente con un esfuerzo al menos de $0.74 f_{sr}$.

Tabla 2.2 ESFUERZOS PERMISIBLES EN LOS CABLES DE PRESFUERZO

Condición	Con respecto al esfuerzo de fluencia f_{py}	Con respecto al esfuerzo de ruptura f_{sr}
Debido a la fuerza del gato	$0.94 f_{py}$	$0.80 f_{sr}$
Inmediatamente después de la transferencia del presfuerzo	$0.82 f_{py}$	$0.74 f_{sr}$
Tendones de postensado, en anclajes y acopladores, inmediatamente después del anclaje de los tendones	—	$0.70 f_{sr}$

Debe tomarse el menor de los valores propuestos en la Tabla 2.2 y el recomendado por el fabricante. A criterio del diseñador, los esfuerzos finales se deben reducir cuando la estructura esté sometida a condiciones corrosivas o cargas repetidas.

2.4.3 DEFLEXIONES

Las deflexiones diferidas de miembros de concreto presforzado deberán calcularse tomando en cuenta los esfuerzos en el concreto y en el acero bajo cargas sostenidas e incluyendo los efectos de flujo plástico y contracción del concreto y relajación del acero. Se deberán emplear los métodos usuales o fórmulas para deflexiones elásticas usando el módulo de elasticidad para el concreto especificado en 1.4.1 d. (Consideraciones generales, materiales, NTC-C) y el momento de inercia de la sección sin agrietar. Este método asume que el concreto no está agrietado, lo que puede ser poco conservador para miembros que tengan un esfuerzo de tensión del concreto relativamente alto como lo permite la Tabla 2.1. Por ello, los miembros diseñados para un esfuerzo de tensión en la zona de tensión precomprimida mayor que $1.6\sqrt{f'_c}$ requieren cálculos de deflexiones basados en la sección transformada y agrietada.

2.4.4 PÉRDIDAS DE PRESFUERZO

Existen varias razones por las que la fuerza de presfuerzo efectiva que actuará en el elemento es menor que la fuerza aplicada por el gato. Estas pérdidas pueden llegar a ser mayores al 30 por ciento en elementos comúnmente empleados. Por ello, estimar las pérdidas asignando un porcentaje puede resultar en un diseño poco conservador y el resultado se reflejarán a largo plazo, una vez que todas las pérdidas se presenten. Subestimar o sobrestimar las pérdidas implica error en las pérdidas totales.

Para evaluar el presfuerzo efectivo se tomarán en cuenta todas las pérdidas, en kg/cm^2 dadas por

$$\Delta PT = \Delta FR + \Delta DA + \Delta AE + \Delta DT + \Delta CC + \Delta FP + \Delta RE1 + \Delta RE2 \quad (2.1)$$

donde: ΔPT	pérdida total
ΔFR	pérdida por fricción
ΔDA	pérdida debido al deslizamiento del anclaje
ΔAE	pérdida debido al acortamiento elástico
ΔDT	pérdida debida al desvío de torones
ΔCC	pérdida debida a la contracción del concreto
ΔFP	pérdida debida al flujo plástico del concreto
$\Delta RE1$	pérdida debida a la relajación instantánea del acero
$\Delta RE2$	pérdida debida a la relajación diferida del acero

Pérdidas inmediatas, las que se presentan después de la etapa de transferencia.

- ΔAE , Acortamiento elástico del concreto
- ΔFR , Fricción
- ΔDA , Deslizamiento de los anclajes
- $\Delta DE1$, Relajación instantánea del acero
- ΔDT , Desviación de los tendones en elementos pretensados

Pérdidas diferidas, las que se consideran durante la vida útil del elemento

- ΔCC , Contracción del concreto
- ΔFP , Flujo plástico del concreto
- ΔRE , Relajación diferida del acero

Deberán indicarse en los planos de diseño los valores de todas las propiedades de los materiales relativas al cálculo de pérdidas como los coeficientes de fricción por curvatura y por desviación accidental, los rangos aceptables para las fuerzas producidas por el gato en los cables y el deslizamiento esperado en los anclajes, entre otros

Se usarán las siguientes expresiones para calcular la pérdida total de la fuerza de presfuerzo.

a) acortamiento elástico del concreto

El concreto alrededor de los tendones experimenta una reducción elástica longitudinal conforme la fuerza de presfuerzo es aplicada. Los tendones también reducen su longitud y por lo tanto su fuerza de tensado inicial (Figura 2.1). El acortamiento elástico puede determinarse fácilmente por la propia relación esfuerzo-deformación del concreto. Las pérdidas están dadas por:

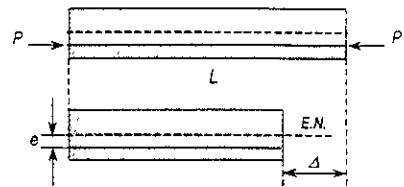


Figura 2.1. Acortamiento elástico

en elementos pretensados

$$\Delta AE = (E_p / E_c) f_{cgp} \quad (2.2)$$

en elementos postensados

$$\Delta AE = ((N - 1) / 2N) (E_p / E_c) f_{cgp} \quad (2.3)$$

donde: E_p módulo de elasticidad del acero de presfuerzo
 E_c módulo de elasticidad del concreto en la transferencia
 f_{cgp} esfuerzo de compresión neto en el concreto en el centro de gravedad de los tendones inmediatamente después de aplicar el presfuerzo al concreto
 N número de tendones idénticos. Si se tensan todos los tendones simultáneamente, $N = 1$ y por lo tanto no hay pérdida, cuando N es muy grande, las pérdidas en postensado tienden a ser del orden de la mitad que en pretensado, ya que $((N - 1) / 2N) \cong 0.5$

b) fricción

Esta pérdida se presenta sólo en elementos postensados. Durante el tensado, a medida que el acero se desliza a través del ducto, se desarrolla la resistencia friccionante y la tensión en el extremo anclado es menor que la tensión en el gato. Las pérdidas debido a la fricción entre los tendones y los ductos están dadas por:

$$\Delta FR = f_t (1 - e^{-(kx + \mu \alpha)}) \quad (2.4)$$

donde. f_i esfuerzo en el acero de presfuerzo al aplicar los gatos (kg/cm^2)
 x longitud de un tendón de presfuerzo de la esquina del gato a cualquier punto en consideración (m)
 μ coeficiente de fricción primario o por curvatura intencional (1/rad)
 K coeficiente de fricción secundario o de balance (1/m)
 α suma de los valores absolutos del cambio angular de la trayectoria del acero de presfuerzo a la esquina del gato, o de la esquina más cercana del gato si el tensado se hace igual en ambas esquinas, desde el punto bajo consideración (rad)

TABLA 2.3 COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA CABLES POSTENSADOS

Cables dentro de una camisa metálica inyectada con lechada, formados por		K (1/m)	μ (1/rad)
Alambres		0.003 a 0.005 0.0010 a 0.0015	0.15 a 0.25
Barras de alta resistencia		0.0003 a 0.002 0.0001 a 0.0006	0.08 a 0.30
Torones de siete alambres		0.0015 a 0.0065 0.0005 a 0.0020	0.15 a 0.25
Alambre y torones de siete alambres no adheridos	cubiertos con resina	0.0010 a 0.0020	0.05 a 0.15
	Preengrasados	0.0003 a 0.0020	0.05 a 0.15

Las pérdidas por fricción en acero postensado se basarán en coeficientes de fricción por desviación accidental, K , y por curvatura, μ , determinados experimentalmente. Podrán usarse los valores de K y μ de la Tabla 2.3 cuando no estén disponibles los datos experimentales de los materiales usados.

c) deslizamiento de los anclajes

La magnitud de estas pérdidas deberá ser la mayor entre la que se requiere para controlar el esfuerzo en los tendones de presfuerzo en la transferencia o la que recomiende el fabricante de los anclajes. Esta magnitud del deslizamiento deberá mostrarse en los planos. La pérdida se calculará como sigue para elementos sin fricción

$$\Delta DA = (\delta L / L) E_p \tag{2.5}$$

donde: δL cantidad de deslizamiento
 E_p módulo de elasticidad del acero de presfuerzo
 L longitud del tendón

En elementos con fricción, el deslizamiento se manifiesta sólo en la cercanía del anclaje, como lo muestra la Figura 2.2.

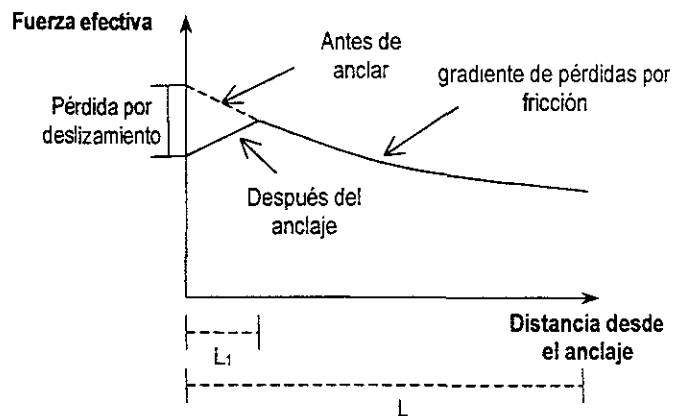


Figura 2.2 Pérdida de la fuerza efectiva de presfuerzo debida al deslizamiento de los anclajes

d) desviación de los tendones en elementos pretensados

Recomendadas por el fabricante según el elemento y el dispositivo de desvío. El fabricante deberá hacer ensayos y pruebas para determinar la magnitud de estas pérdidas y poderlas considerar en el diseño.

e) relajación instantánea

Cuando al acero del presfuerzo se le esfuerza hasta los niveles usuales de tensado experimenta relajamiento. Existen dos etapas para el cálculo de esta pérdida y la relajación total deberá tomarse como la sumatoria de ambas pérdidas. En la etapa de transferencia, en miembros pretensados, la pérdida por relajación en el acero de presfuerzo, inicialmente tensado arriba de $0.5f_{sr}$, debe tomarse como

$$\Delta RE1 = (\log(th) / 10)(f_i / f_{py} - 0.55)f_i \quad (2.6)$$

donde: th Tiempo estimado de días desde el esforzado hasta la transferencia (hrs)
 f_i Esfuerzo en el tendón al momento de tensado (kg/cm^2)
 f_{py} Esfuerzo de fluencia del acero de presfuerzo (kg/cm^2)

Para trenzas aliviadas de esfuerzo, para trenzas de baja relajación se utilizará el 25 por ciento de $\Delta RE1$.

Los rangos de los valores de f_{py} están dados como sigue:

Para barras de alta resistencia $f_{py} = 0.80f_{sr}$
 Para tendones de baja relajación $f_{py} = 0.90f_{sr}$

f) contracción del concreto

La contracción por secado del concreto provoca una reducción en la deformación del acero del presfuerzo igual a la deformación por contracción del concreto. La reducción se refleja en una disminución del esfuerzo en el acero y constituye un componente importante de la pérdida del presfuerzo para todos los tipos de elementos de concreto presfuerzo. Esta pérdida se calcula aplicando las siguientes expresiones para elementos pretensados.

$$\Delta CC = (1193 - 10.5H) \quad (2.7)$$

donde H es el promedio anual de la humedad relativa del ambiente en porcentaje. En caso de no conocerse H se puede estimar según la Tabla 2.4. Para elementos postensados se considerará el 80 por ciento de ΔCC

TABLA 2.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD SEGÚN TIPO DE CLIMA

Tipo de clima	H
Muy húmedo	100%
Humedad intermedia	75%
Seco	40%

g) flujo plástico del concreto

Esta pérdida se presenta por la deformación permanente del concreto ante la acción de cargas sostenidas, como lo son la carga muerta y el presfuerzo. Se puede calcular como

$$\Delta FP = 12 f_{cgp} - 7 f_{cgs} \geq 0 \quad (2.8)$$

donde, f_{cgp} es el esfuerzo de compresión neto en el concreto en el centro de gravedad de los tendones inmediatamente después de aplicar el presfuerzo al concreto y f_{cs} es el esfuerzo en el concreto en el centro de gravedad de los tendones debido a cargas muertas en (kg/cm^2) que son aplicadas en el miembro después del presfuerzo. Los valores de f_{cs} deberán calcularse en la misma sección o secciones para las cuales f_{cgp} es calculada

Cuando la estructura va a estar sujeta a ambiente corrosivo, el ingeniero juzgará si es necesario obligar a que no haya tensiones en condiciones de servicio, aunque debe tomar en cuenta que esto originará grandes pérdidas por flujo plástico

h) relajación diferida

Después de la transferencia, las pérdidas debido a la relajación del acero de presfuerzo pueden tomarse para pretensado con trenzas aliviadas de esfuerzo como:

$$\Delta RE2 = 1408 - 0.4\Delta AE - 0.2(\Delta CC + \Delta FP) \quad (2.9)$$

Para postensado con trenzas aliviadas de esfuerzo:

$$\Delta RE2 = 1408 - 0.3\Delta FR - 0.4\Delta AE - 0.2(\Delta CC + \Delta FP) \quad (2.10)$$

Para acero de presfuerzo de baja relajación se deberá usar el 30 por ciento de $\Delta RE2$ de las ecuaciones 2.9 y 2.10

2.5 REVISIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE DE FALLA

2.5.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a flexión de elementos presforzados y parcialmente presforzados se calculará con base en las condiciones de equilibrio y en las hipótesis generales enunciadas en 2.1.1 (Revisión de los estados límite de falla, Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño, NTC-C), tomando en cuenta la deformación inicial debida al presfuerzo.

a) esfuerzo en el acero de presfuerzo

El esfuerzo en el acero de presfuerzo, f_{sp} , cuando se alcanza la resistencia del elemento, deberá valuarse como dice el párrafo anterior, es decir, a partir del equilibrio y las hipótesis generales. Sin embargo, cuando todo el acero de presfuerzo se encuentra en la zona de tensión precomprimida y $f_c' \leq 350 \text{ kg}/\text{cm}^2$ el esfuerzo f_{sp} puede calcularse con la siguiente expresión:

$$f_{sp} = f_{sr} [1 - 0.5(q_p + q - q')] \quad (2.11)$$

donde f_{sr} es el esfuerzo resistente y $q_p = p_p f_{sr} / f_c''$

donde $p_p = A_{sp} / b d_p$, es la cuantía de acero presforzado, A_{sp} , y d_p es la distancia entre la fibra extrema a compresión y el centroide del acero presforzado (Figura 2.3).

$q = p f_y / f_c''$ donde $p = A_s / b d$, es la cuantía de acero de refuerzo ordinario a tensión, A_s , y d es la distancia de la fibra extrema a compresión al centroide de A_s (Figura 2.3)

$q' = p' f_y / f_c''$ donde $p' = A_s' / b d$, es la cuantía de acero de refuerzo a compresión, A_s'

En las expresiones anteriores b es el ancho de la sección, en secciones I ó T , es el ancho efectivo del patín comprimido por efecto de las cargas según se indica más adelante.

Si se toma en cuenta el acero de compresión para calcular f_{sp} , el término $(q_p + q - q')$ deberá ser mayor o igual que 0.17 . Esto es porque la inclusión del término q' en la ecuación 2.11 refleja el valor incrementado de f_{sp} obtenido cuando se proporciona refuerzo de compresión en una viga con gran índice de refuerzo. Cuando el término $(q_p + q - q')$ en la ecuación 2.11 es pequeño, la profundidad del eje neutro es pequeña, por lo que el refuerzo de compresión no desarrolla su resistencia a la fluencia y la ecuación 2.11 deja de ser conservadora.

No debe considerarse la contribución del acero de compresión, A_s' si la distancia entre la fibra extrema a compresión y el centroide del acero a compresión, d' , es mayor que $0.15 d_p$ (Figura 2.3). Esto es porque cuando el valor de d' es grande, la deformación en el refuerzo de compresión puede ser considerablemente menor que su deformación a la fluencia. En este caso, el refuerzo de compresión no influye en f_{sp} de manera tan favorable como lo implica la ecuación 2.11.

La fórmula aproximada para calcular f_{sp} puede subestimar la resistencia de las vigas con altos porcentajes de refuerzo. Para evaluaciones más exactas de f_{sp} , debe emplearse el método de compatibilidad de deformaciones y el equilibrio.

b) secciones T sujetas a flexión

Para determinar el ancho efectivo del patín de secciones T presforzadas que forman parte integral de un piso monolítico, se aplicará el mismo criterio que para vigas reforzadas. El ancho, b_1 , del patín que se considere trabajando a compresión en secciones L y T a cada lado del alma será, de acuerdo a la Figura 2.3, el menor de los tres valores siguientes

$$b_1 \leq \begin{cases} L/8 - b'/2 \\ L_1 \\ 8t \end{cases} \quad (2.12)$$

En vigas T presforzadas aisladas regirá el mismo criterio, a menos que se compruebe experimentalmente la posibilidad de tomar anchos efectivos mayores.

Se comprobará que el área del refuerzo transversal que se suministre en el patín, incluyendo el del lecho inferior, no sea menor que $10/f_y$ veces el área transversal del patín (f_y en kg/cm^2). La longitud de este refuerzo debe comprender el ancho efectivo del patín y, a cada lado de los paños del alma, debe anclarse de acuerdo con 3.1 (Requisitos complementarios; Anclajes, NTC-C).

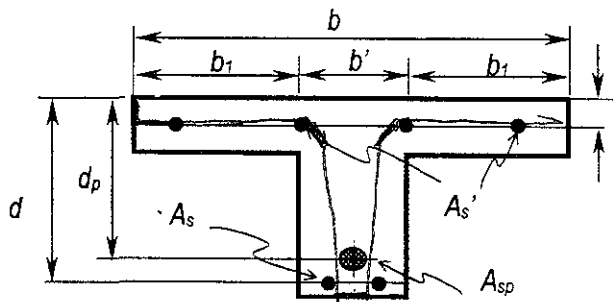


Figura 2.3 Peraltes, dimensiones y áreas de acero de una sección presforzada tipo

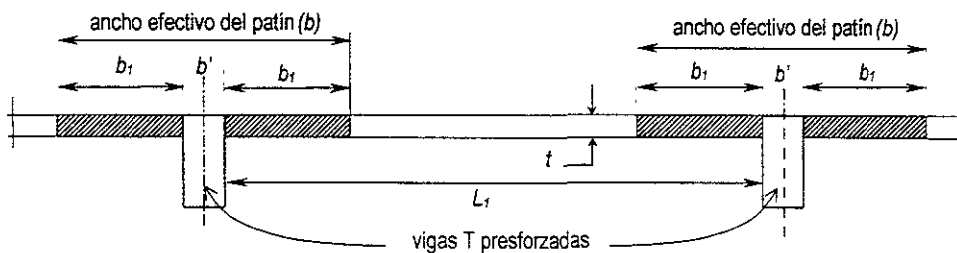


Figura 2.4 Obtención del ancho efectivo de una viga T

c) límites de acero de refuerzo en elementos sujetos a flexión

Esta disposición constituye una precaución contra fallas abruptas de flexión desarrolladas inmediatamente después del agrietamiento. Un elemento en flexión, diseñado de acuerdo con las disposiciones del reglamento, requiere una carga adicional considerable más allá del agrietamiento para alcanzar su resistencia a la flexión. Así, una considerable deflexión advierte que la resistencia del elemento se está aproximando. No obstante, cuando la resistencia a la flexión ocurre poco después del agrietamiento, dicha deflexión puede no ocurrir.

El acero a tensión, presforzado y sin presforzar, será por lo menos el necesario para garantizar que el momento resistente de la sección, M_R , se presentará después de agrietarse la sección y no se presentará una falla frágil. Por ello, se deberá cumplir que:

$$M_R \geq 1.2 M_{agr} \quad (2.13)$$

donde M_{agr} es el momento de agrietamiento de la sección que se presenta cuando se alcanza el valor del módulo de ruptura no reducido del concreto, $f_t = 2\sqrt{f'_c}$ definido en 1.4.1. (Materiales; concreto, NTC-C). La condición anterior podrá no cumplirse si $M_R \geq 2 M_u$.

Para secciones simples M_{agr} se obtendrá como

$$M_{agr} = \left[2\sqrt{f'_c} + \frac{P}{A} + \frac{Pe}{S_i} \right] S_i \quad (2.14)$$

donde S_i es el módulo de sección de la fibra en tensión y M_{agr} corresponde al momento causado por todas las cargas verticales.

Para secciones compuestas,

$$M_{agr} = M_1 + M_2 \quad (2.15)$$

donde M_1 es el momento debido al peso propio y al firme, y M_2 está dado por

$$M_2 = \left[2\sqrt{f'_c} - \frac{M_1}{S_{iss}} + \frac{Pe}{S_{iss}} + \frac{P}{A} \right] S_{isc} \quad (2.16)$$

donde e excentricidad del acero de presfuerzo, cm
 S_{isc} módulo de sección de la fibra inferior de la sección compuesta
 S_{iss} módulo de sección de la fibra inferior de la sección simple

2.5.2 ELEMENTOS EN COMPRESIÓN: CARGA AXIAL Y FLEXIÓN COMBINADAS

La resistencia a flexocompresión de elementos presforzados se calculará con base en las condiciones de equilibrio y en las hipótesis generales enunciadas en 2.1.1 (Revisión de los estados límite de falla, Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño, NTC-C), tomando en cuenta la deformación inicial debida al presfuerzo.

Este refuerzo debe cumplir con los requisitos de 4.2 (Disposiciones complementarias para elementos estructurales comunes; Columnas, NTC-C). Se debe de incluir los efectos debidos al presfuerzo, flujo plástico, contracción y cambios de temperatura. Se deben considerar los efectos del presfuerzo al restar capacidad de compresión a las columnas. Así mismo, puede considerarse que esa presencia de presfuerzo aumenta la capacidad a flexión de las mismas.

2.5.3 FUERZA CORTANTE

a) fuerza cortante que toma el concreto (V_{CR}) en miembros de concreto presforzado

Las expresiones para V_{CR} que se presentan en seguida para distintos elementos son aplicables cuando.

$$h \leq 70 \text{ cm} \quad \text{y} \quad h/b \leq 6$$

donde h es el peralte total y b es el ancho de la sección transversal del elemento.

Por cada una de las dos condiciones anteriores que no se cumpla se reducirá V_{CR} dado por dichas expresiones en 30 por ciento. Para valuar h/b en vigas T o I se usará el ancho del alma, b'

En secciones donde al menos el 40 por ciento de la resistencia está dada por el presfuerzo, los tendones estén cien por ciento adheridos y donde se ha alcanzado el esfuerzo efectivo, la fuerza V_{CR} se calculará con la siguiente expresión (Figura 2.5).

$$V_{CR} = F_R b d (0.15 \sqrt{f_c^*} + 50 V d_p / M) \quad (2.17)$$

Sin embargo, estará acotada por los siguientes límites:

$$0.5 F_R b d_p \sqrt{f_c^*} \leq V_{CR} \leq 1.3 F_R b d_p \sqrt{f_c^*} \quad (2.18)$$

donde M, V momento flexionante y fuerza cortante, respectivamente, que actúan en la sección
 d peralte efectivo, es la distancia de la fibra extrema en compresión al centroide del acero en tensión, debe ser mayor o igual que $0.8h$.
 d_p distancia de la fibra extrema en compresión al centroide de todos los tendones de presfuerzo

La cantidad $V d_p / M$ no debe considerarse mayor que 1.0.

En secciones donde menos del 40 por ciento de la resistencia esté dada por el acero de presfuerzo, y donde los tendones no estén adheridos, o situados en la zona de transferencia, se aplicarán las siguientes ecuaciones correspondientes a secciones sin presfuerzo (2.1.5 Revisión de los estados límite; fuerza cortante, NTC-C).

$$\text{si } p < 0.01 \quad V_{CR} = F_R b d (0.2 + 30 p) \sqrt{f_c^*} \quad (2.19)$$

$$\text{si } p \geq 0.01 \quad V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f_c^*} \quad (2.20)$$

El peralte efectivo, d , se calculará con la siguiente expresión:

$$d = \frac{A_{sp} f_{sp} d_p + A_s f_y d_s}{A_{sp} f_{sp} + A_s f_y} \quad (2.21)$$

d_s es la distancia entre la fibra extrema a compresión y el centroide del acero ordinario a tensión y f_{sp} es el esfuerzo en el acero de presfuerzo, A_{sp} , cuando se alcanza la resistencia del elemento.

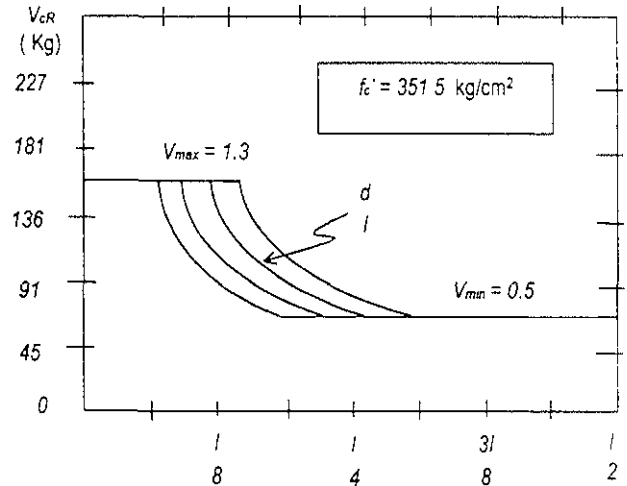


Figura 2.5 Límites del cortante resistente del concreto. V_{CR}

La contribución de los patines en vigas *T*, se valorará con el criterio que se prescribe en el apartado para vigas sin presfuerzo. En la Figura 2.6 se muestran algunas secciones de elementos presforzados tipo en donde se indica el ancho para cortante, b' , y el espesor del patín, t

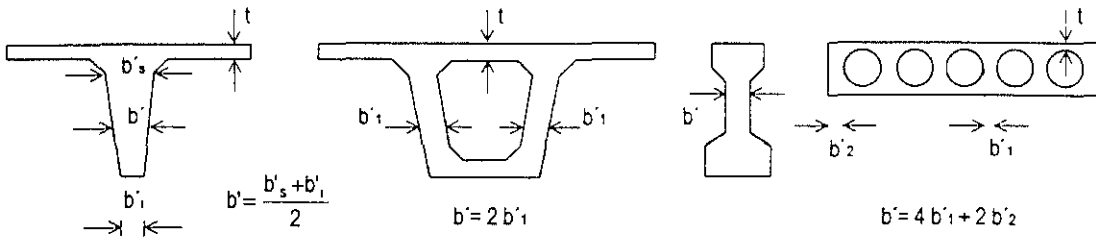


Figura 2.6 Cálculo del producto bd para secciones tipo *T* de elementos presforzados

La ecuación 2.17 es simple y fácil de emplear, pero puede dar resultados muy conservadores para algunas clases de miembros. Para cálculos más precisos, el valor de V_{CR} debe tomarse como el menor de los valores de V_C y V_{CW} determinados para un agrietamiento por flexión-cortante y para un agrietamiento por cortante en el alma, respectivamente. V_C se calcula como:

$$V_C = 0.16 b d \sqrt{f'_c} + V_{pp} + V_{sc} M_{agr} / M_s \quad (2.22)$$

donde: V_{pp} cortante debido al peso propio del miembro y al peso de la sección compuesta

V_{sc} y M_{sc} son, respectivamente, el cortante y momento en la sección considerada, provenientes de las cargas muerta y viva sobrepuestas (sin incluir ni peso propio ni firme). V_{pp} , V_{sc} y M_{sc} deben calcularse sin factores de carga y M_{agr} es el momento que produce el agrietamiento por flexión, calculado como se mostró 2.1.3 a de este trabajo.

Al aplicar la ecuación 2.22, V_C no necesita ser considerado menor que $0.45 \sqrt{f'_c} b d$.

El cortante que toma el concreto considerando un agrietamiento por cortante en el alma está dado por:

$$V_{CW} = b d (0.93 \sqrt{f'_c} + 0.02 f_{cc}) + V_p \quad (2.23)$$

donde V_p es la componente vertical de la fuerza pretensora efectiva en la sección sin factor de carga y tomando en cuenta la longitud de adherencia (2.1.4 b) y f_{cc} es el esfuerzo de compresión en el centroide del concreto debido a la fuerza pretensora efectiva. De la Figura 2.7 se aprecia que V_p se obtiene como:

$$V_p = P_e \text{ sen } \theta \quad (2.24)$$

donde θ es el ángulo de inclinación de la línea centroidal del tendón en la sección.

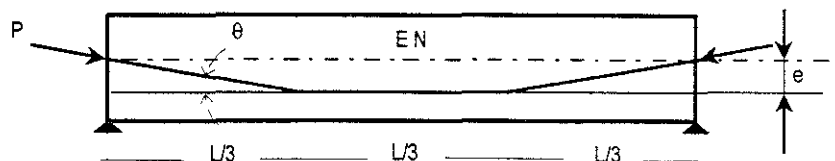


Figura 2.7 Trayectoria de los tendones

Como una alternativa del uso de la ecuación 2.23, V_{CW} puede calcularse como la fuerza cortante que corresponde a la carga muerta más la

carga viva, que resulta en un esfuerzo de tensión principal de $1.06 \sqrt{f_c'}$ en el centriodo del miembro o en la intersección del patín y el alma cuando el eje centroidal está en el patín. Esto es porque el cálculo de V_{cw} está basado en asumir que el agrietamiento por cortante en el alma ocurre debido a fuerzas cortantes que causan esfuerzos principales de tensión alrededor de $1.06 \sqrt{f_c'}$ en el centriodo de la sección.

b) refuerzo mínimo por cortante

Se deberá disponer de una área mínima de refuerzo por cortante en todos los miembros de concreto reforzados por flexión donde la fuerza factorizada de cortante V_u exceda la mitad de la resistencia al cortante disponible del concreto V_{CR} excepto:

1. Losas y zapatas
2. Construcción de viguetas de concreto
3. Vigas con peralte total no mayor de 25 cm, $2\frac{1}{2}$ veces el espesor del patín, o $\frac{1}{2}$ al ancho del alma, cualquiera que sea el mayor.

Las losas, zapatas y viguetas están excluidas de los requisitos de refuerzo mínimo por cortante debido a que hay la posibilidad de distribuir las cargas entre áreas débiles y fuertes

Se permitirá omitir los requisitos de refuerzo mínimo por cortante si se demuestra mediante pruebas que la resistencia nominal por flexión y cortante se puede desarrollar cuando no se coloca el refuerzo por cortante. Tales pruebas deberán simular los efectos de asentamientos diferenciales, flujo plástico, contracción y cambios por temperatura, basados en una estimación realista de tales efectos que ocurran en servicio.

Donde se requiera refuerzo por cortante y donde la torsión pueda ser ignorada, el área mínima de refuerzo por cortante para miembros presforzados y no presforzados deberá calcularse por medio de:

$$A_v = 3.5 b s / f_y \quad (\text{cm}^2) \quad (2.25)$$

donde b y s están en centímetros.

Para miembros presforzados con una fuerza efectiva de presfuerzo no menor que 40 por ciento de la resistencia a la tensión del refuerzo por flexión, el área del refuerzo por cortante no deberá ser menor que la menor A_v de las ecuaciones 2.25 y 2.26

$$A_v = A_{sp} f_{sr} s \sqrt{\frac{bd}{5.6 f_y d}} \quad (2.26)$$

c) refuerzo por tensión diagonal en vigas presforzadas

Este refuerzo estará formado por estribos perpendiculares al eje de la pieza, de grado no mayor que 42 (4 200 kg/cm²), o por malla de alambre soldado cuyo esfuerzo de fluencia no se tomará mayor que 5600 kg/cm².

Los estribos estarán perfectamente anclados en ambos extremos para desarrollar la resistencia de diseño del acero y se colocarán hasta en una distancia al menos de un peralte efectivo, d , a partir de la sección en estudio.

d) separación del refuerzo por cortante

La separación de los estribos que forman el refuerzo mínimo en vigas totalmente presforzadas será de $0.75h$. Cuando el cortante que toma el acero, V_s , excede $1.06 \sqrt{f_c'} b d$, los valores anteriores deben reducirse a la mitad. Por otro lado, V_s nunca debe tomarse mayor que $2.12 \sqrt{f_c'} b d$

La separación de estribos, s , en centímetros debe ser:

$$5 \text{ cm} < s \leq 0.75h$$

donde h es el peralte total de la pieza y s se calculará con la siguiente expresión:

$$s = \frac{F_R A_v f_y d}{V_u - V_{cR}} \leq \frac{F_R A_v f_y}{3.5b} \quad (2.27)$$

donde A_v área transversal del refuerzo por tensión diagonal comprendido en una distancia s , en cm^2
 f_y esfuerzo de fluencia del acero en kg/cm^2
 V_u fuerza cortante de diseño en kg
 V_{cR} fuerza cortante de diseño que toma el concreto en kg
 b ancho de la sección transversal rectangular o ancho del patín a compresión en vigas T , I o L en cm
 d peralte efectivo (distancia entre el centroide del acero de tensión y la fibra extrema en compresión), en cm

Para secciones circulares se sustituirá d por el diámetro de la sección.

En ningún caso se admitirá que:

$$V_u > 2.5F_R b d \sqrt{f_c^*} \quad (2.28)$$

En esta ecuación, d es la profundidad hasta el centroide de los tendones de presfuerzo; el límite inferior de $0.8h$ usado en otra parte no se aplica aquí.

2.5.4 PANDEO DEBIDO AL PRESFUERZO

Deberán considerarse las posibilidades de pandeo en un miembro entre puntos donde el concreto y los tendones de presfuerzo estén en contacto y de pandeo en almas y patines delgados.

2.6 REQUISITOS COMPLEMENTARIOS

2.6.1 ZONAS DE ANCLAJE

En vigas con tendones postensados deben utilizarse bloques extremos a fin de distribuir las fuerzas concentradas del presfuerzo en el anclaje. Estos bloques deben tener suficiente espacio para permitir la colocación del acero de presfuerzo y alojar los dispositivos de anclaje, y deben ser diseñados para resistir tanto la fuerza máxima de tensado como la fuerza última de diseño de los tendones utilizando un factor de reducción $F_R = 0.9$ para el concreto.

Para resistir el esfuerzo de ruptura y evitar el agrietamiento y el desprendimiento del recubrimiento, debe colocarse refuerzo en los miembros postensados con la separación y cantidad recomendadas por el fabricante del anclaje. Cuando las recomendaciones del fabricante no sean aplicables, la parrilla debe constar, como mínimo, de barras del número 3 colocadas cada 8 cm en cada dirección. Esta parrilla se colocará a no más de 4 cm de la cara interna de la placa de apoyo de anclaje.

2.6.2 ANCLAJE DEL ACERO DE PRESFUERZO Y LONGITUD DE DESARROLLO

En elementos pretensados, los torones de tres o siete alambres deben estar adheridos más allá de la sección crítica en una longitud de desarrollo, l_d , no menor que la requerida para desarrollar el esfuerzo de los torones l_d se puede determinar por medio de la siguiente ecuación

$$l_d \geq 0.014 (l_{ad} + l_{des}) \quad (2.29)$$

$$l_d \geq 0.014 \left(\left(\frac{f_{se}}{3} d_b \right) + (f_{sp} - f_{se}) d_b \right) \quad (2.30)$$

donde: f_{sp} esfuerzo del torón a su resistencia nominal en kg/cm^2
 f_{se} esfuerzo efectivo en kg/cm^2
 d_b diámetro nominal del torón en cm

El primer término de la ecuación 2.32.30, $0.014 (f_{se} / 3 d_b)$ representa la longitud de adherencia, l_{ad} y el segundo término, $0.014 (f_{sp} - f_{se}) d_b$ representa la longitud adicional, l_{des} , requerida para el incremento del esfuerzo correspondiente al esfuerzo resistente. En la figura 2.8 se aprecia esquemáticamente l_{ad} y l_{des} .

Esta revisión puede limitarse a las secciones más próximas a la zona de adherencia del presfuerzo, y en las cuales sea necesario que se desarrolle la resistencia de diseño.

Donde los torones no estén adheridos hasta el extremo del elemento y en condiciones de servicio ocurra tensión en la zona de tensión precomprimida, deberá usarse una longitud de desarrollo de $2l_d$.

La longitud de desarrollo de alambres lisos de presfuerzo se supondrá de 100 diámetros.

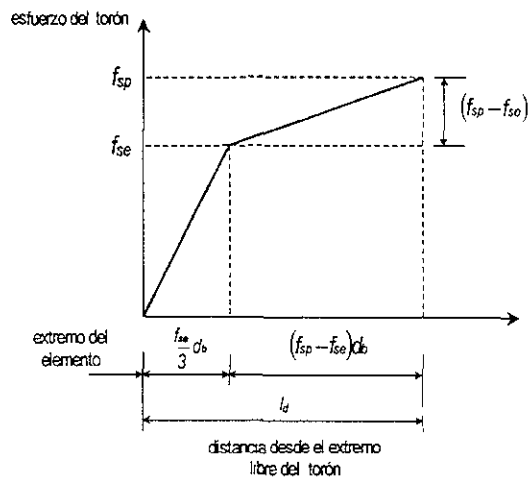


FIGURA 2.8 Variación del esfuerzo del torón con respecto a la longitud de desarrollo

2.6.3 ANCLAJES Y ACOPLADORES PARA POSTENSADO

Los anclajes y acopladores para tendones adheridos o no adheridos deben desarrollar, por lo menos, el 95 por ciento de la resistencia máxima de los tendones cuando se prueben bajo condición de no adherencia, sin que se excedan los corrimientos previstos. Sin embargo, para tendones adheridos dichos anclajes y acopladores deben ser ubicados para poder desarrollar el 100 por ciento de la resistencia a la ruptura de los tendones en las secciones críticas una vez producida la adherencia al elemento.

Los acopladores deben colocarse en zonas aprobadas por el supervisor y guardados en dispositivos lo suficientemente largos para permitir los movimientos necesarios.

En elementos sometidos a cargas cíclicas se debe tener especial atención a la posibilidad de fatiga en los anclajes y acopladores.

Los dispositivos de anclaje y acopladores en los extremos deben protegerse permanentemente contra la corrosión.

2.6.4 RECUBRIMIENTO

El recubrimiento libre de toda barra de refuerzo, tendón de presfuerzo, ducto o conexión en los extremos no será menor que su diámetro, ϕ , ni menor que cualquiera de los valores señalados en la Tabla 2.5; en esta tabla ϕ es el diámetro de la barra más gruesa del paquete

TABLA 2.5 RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS

Elemento	No expuesto a clima ni en contacto con el terreno	Expuesto a clima o en contacto con el terreno
columnas y trabes	2.0 cm	4.0 cm
losas	1.5 cm	3.0 cm
cascarones	1.0 cm	2.0 cm
paquetes de barras	1.5ϕ pero no menor que 2.0 cm	3ϕ pero no menor que 4.0 cm
elementos prefabricados (sin presfuerzo)	1.5 cm, ó ϕ	3 cm, 2ϕ ó 2ϕ
losas y cascarones prefabricados	1.0 cm	2.0 cm ó 2ϕ
concreto colado contra y permanentemente expuesto al terreno (incluye plantilla).	—	5.0 cm

Para elementos de concreto presforzado expuesto al terreno, clima o ambientes corrosivos, y en el cual se exceda el esfuerzo permisible de la fibra extrema en tensión ($1.6 \sqrt{f_c}$) en la zona de tensión precomprimida, el recubrimiento mínimo deberá incrementarse 50 por ciento. En localidades donde los miembros están expuestos a agua salada, rocío o vapor químico, se deberá proveer a juicio del diseñador un recubrimiento adicional de al menos el 50 por ciento.

2.6.5 SEPARACIÓN ENTRE TENDONES

La separación libre entre tendones de pretensado en los extremos de los miembros (Tabla 2.6), no debe ser menor de 4ϕ ó 1.5 veces el Tamaño Máximo del Agregado (TMA) para alambres, ni de 3ϕ ó 1.5 veces el TMA para torones. En ambos casos se debe tomar el mayor de los valores. En la zona central del claro, se permite una separación vertical menor y hacer paquetes de tendones, conservando una separación libre entre paquetes de 2.5 cm ó 1.3 TMA.

TABLA 2.6 SEPARACIÓN LIBRE ENTRE TENDONES EN LOS EXTREMOS DEL ELEMENTO

Tipo de presfuerzo		Separación libre (si)
tendones de pretensado	alambres	4ϕ ó 1.5 TMA
	torones	3ϕ ó 1.5 TMA
ductos de postensado	individuales	4.0 cm ó 1.5 TMA
	paquetes	10.0 cm

Para ductos de postensado, se permite hacer paquetes si se demuestra que el concreto puede colocarse satisfactoriamente y se previene que los tendones no se rompan cuando se tensen.

2.6.6 ESTRUCTURAS ESTÁTICAMENTE INDETERMINADAS

Los marcos y elementos continuos de concreto presforzado deben diseñarse para un comportamiento satisfactorio en condiciones de cargas de servicio y deben ofrecer la resistencia adecuada.

El comportamiento en condiciones de carga de servicio debe determinarse mediante un análisis elástico, considerando las reacciones, los momentos, el cortante y las fuerzas axiales producidas por el presfuerzo, la fluencia, la contracción, los cambios de temperatura y la deformación axial.

Los momentos que se deben utilizar para calcular la resistencia requerida deben ser la suma de los momentos debidos a los efectos inducidos por el presfuerzo (con un factor de carga de 1.0) y los momentos debidos a las cargas de diseño factorizadas. Se permite la redistribución de momentos negativos en vigas continuas

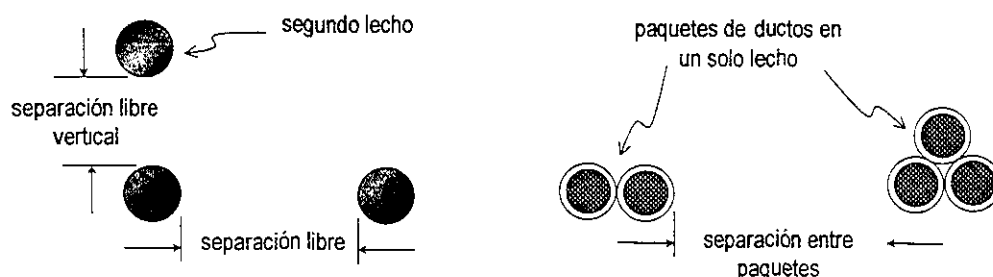


Figura 2.9 Separación Libre entre barras, tendones o ductos en los extremos del elemento

En los extremos de elementos presforzados que posean cierto grado de continuidad, se debe considerar que el concreto sujeto a compresión reduce su capacidad por la aplicación de la fuerza de presfuerzo en dicha zona. Se deberá considerar esta reducción por medio de compatibilidad de deformaciones.

2.6.7 DUCTOS PARA POSTENSADO

Los ductos para postensado no deben permitir el paso del concreto a su interior y no deben reaccionar químicamente con el concreto, los tendones o el material del relleno.

Para facilitar la inyección de lechada el diámetro interior de ductos que alojen un solo tendón será al menos 6 mm mayor que el diámetro del tendón; el área transversal interior de ductos que alojen varios tendones será por lo menos igual al doble del área transversal de todos los tendones.

2.6.8 LECHADA PARA TENDONES ADHERIDOS

La lechada para inyección debe ser de cemento Portland y agua, o de cemento Portland, arena y agua; estos materiales deben cumplir con los requisitos especificados en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM C1, NOM C2, NOM CIII, NOM C122 y NOM C255). Para mejorar la manejabilidad y reducir el sangrado y la contracción, pueden usarse aditivos que no sean dañinos ni a la lechada ni al acero ni al concreto, y no debe utilizarse cloruro de calcio.

El proporcionamiento de la lechada debe basarse en cualquiera de los siguientes casos.

- I. Resultados de ensayos sobre lechada fresca y lechada endurecida realizados antes de iniciar las operaciones de inyección.

- II Experiencia previa documentada, con materiales y equipo semejante y en condiciones de campo comparables.

El contenido del agua será el mínimo necesario para que la lechada pueda bombearse adecuadamente, pero la relación agua-cemento en peso no deberá ser mayor que 0.45. No se podrá emplear agua para incrementar la fluidez de la lechada si aquella fue disminuida por retraso en la colocación de la misma.

La lechada debe inyectarse con equipo de mezclado y agitación mecánicos continuos que den lugar a una distribución uniforme de los materiales; asimismo, debe bombearse de modo que llene completamente los ductos de los tendones.

La temperatura del elemento presforzado, cuando se inyecta la lechada, debe ser mayor que 2 C, y debe mantenerse por encima de este valor hasta que la resistencia de cubos de 5 cm, fabricados con la lechada y curados en la obra, lleguen a una resistencia mínima a la compresión de 55 kg/cm². Durante el mezclado y el bombeo, la temperatura de la lechada no debe exceder de 30 C.

2.6.9 PROTECCIÓN DE TENDONES DE PRESFUERZO

Las operaciones con soplete y las de soldadura en la proximidad del acero de presfuerzo deben realizarse de modo que éste no quede sujeto a altas temperaturas, chispas de soldadura, o corrientes eléctricas a tierra.

Los tendones no adheridos deberán estar completamente cubiertos con material adecuado para asegurar la protección contra la corrosión.

El recubrimiento de los tendones deberá ser continuo en toda su longitud no adherida, y deberá prevenirse que se introduzca lechada o la pérdida del material de recubrimiento durante la colocación del concreto.

2.6.10 APLICACIÓN Y MEDICIÓN DE LA FUERZA DE PRESFUERZO

La fuerza de presfuerzo se determinará de las dos maneras siguientes:

1. Medición del alargamiento de los tendones. El alargamiento requerido deberá determinarse del promedio de las curvas carga-alargamiento para los tendones de presfuerzo empleados.
2. Observación de la fuerza del gato en un aparato de medición calibrado o una celda de carga o con el uso de un dinamómetro calibrado.

Debe determinarse y corregirse la causa de toda discrepancia en la determinación de la fuerza entre las dos opciones anteriores mayor de 5 por ciento para elementos pretensados o 7 por ciento para construcciones postensadas.

Cuando la fuerza de pretensado se transfiera al concreto cortando los tendones con soplete, la localización de los cortes y el orden en que se efectúen deben definirse de antemano con el criterio de evitar esfuerzos temporales indeseables. Los tramos largos de torones expuestos se cortarán cerca del elemento presforzado para reducir al mínimo el impacto sobre el concreto. Para ductos de postensado, se permite hacer paquetes si se demuestra que el concreto puede colocarse satisfactoriamente y se previene que los tendones no se rompan cuando se tensen.

Capítulo 3

DISEÑO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS, CONEXIONES Y SOPORTES

3.1 GENERALIDADES

Las estructuras prefabricadas se diseñarán teniendo en cuenta las condiciones de carga que se presenten desde la fabricación inicial de los elementos hasta la terminación de la estructura, incluyendo su manejo, almacenaje, transportación y colocación y las condiciones de restricción que den las conexiones. El comportamiento de estas estructuras debe satisfacer en todas sus etapas las condiciones de servicio y de resistencia especificadas en los capítulos correspondientes. Todas las provisiones de este reglamento que no estén explícitamente excluidas o en conflicto con lo escrito en este capítulo aplicarán también a concreto prefabricado.

Cuando los miembros prefabricados sean incorporados en un sistema estructural, las fuerzas y deformaciones debidas a contracción, flujo plástico, cambios de temperatura, deformaciones elásticas, asentamientos diferenciales, viento y sismo que ocurran en y cerca de las conexiones, deberán ser incluidas en el diseño.

En adición a los requisitos generales para los planos y especificaciones, deberán incluirse los siguientes datos ya sea en los documentos de contrato o en los planos.

- a) Detalles del refuerzo y dispositivos requeridos para resistir cargas temporales debidas al manejo, almacenaje, transportación y montaje
- b) Resistencia necesaria del concreto en las etapas establecidas o fases de construcción
- c) Resistencia de los aceros
- d) Dimensiones de los elementos y ubicación del acero de refuerzo
- e) Magnitud y ubicación del acero de presfuerzo

Las estructuras prefabricadas se diseñarán por sismo con un factor $Q \leq 2$; sus conexiones cumplirán con los requisitos del Capítulo III (Conexiones y soportes). El Departamento del Distrito Federal podrá autorizar el uso de $Q=3$, cuando se demuestre a su satisfacción que el diseño y el procedimiento constructivo de las conexiones y sistemas de piso lo justifican; en este caso, la estructura deberá cumplir con las disposiciones del capítulo 5 (Marcos Dúctiles).

3.2 DEFINICIONES

Concreto prefabricado: se entiende por concreto prefabricado al sistema constructivo formado en partes o en su totalidad por elementos de concreto colados fuera del sitio donde serán finalmente ubicados.

Nudo: parte de la columna comprendida dentro de un peralte de las vigas que llegan a ella

3.3 NOTACIÓN

b_v	ancho de la superficie de contacto	h	peralte total de la sección transversal del elemento
d	peralte efectivo del acero de refuerzo, distancia entre el entroide del acero de tensión y la fibra extrema de compresión en cm	L_{vh}	longitud del cortante horizontal
f_c'	resistencia especificada del concreto a compresión, kg/cm ²	Q	factor de comportamiento sísmico
f_y	esfuerzo de fluencia del acero en kg/cm ²	V_u	fuerza cortante factorizada en la sección considerada
		V_{nh}	resistencia nominal horizontal al cortante

3.4 DISTRIBUCIÓN DE LAS FUERZAS ENTRE LOS MIEMBROS

La distribución de las fuerzas perpendiculares al plano de los miembros deberá ser establecida por análisis o por pruebas. Estas cargas se pueden distribuir entre los elementos siempre y cuando tengan suficiente rigidez torsional y que el cortante se pueda transferir entre las juntas.

Donde el comportamiento del sistema requiera que las fuerzas en el plano sean transferidas entre los miembros de un piso prefabricado o un sistema de muros, aplicará lo siguiente:

- Las fuerzas en el plano deberán ser continuas a lo largo de conexiones y miembros
- Donde ocurran fuerzas de tensión, deberá proveerse una sección continua de acero de refuerzo

La continuidad en el acero debe darse con traslapes o dispositivos mecánicos como soldadura, remaches, tornillos u otros sistemas de acero, mientras que para el cortante y la compresión puede ser con la sección de concreto.

Las fuerzas de tensión en las conexiones deben transferirse al refuerzo principal de los elementos. El diseño de las conexiones debe considerar los efectos de contracción, flujo plástico y efectos térmicos. Cuando las deformaciones que estos efectos producen son restringidas, las conexiones y los elementos deben diseñarse con la adecuada resistencia y ductilidad.

3.5 DISEÑO DE ELEMENTOS

En pisos y cubiertas de techos prefabricados y en muros de paneles presforzados prefabricados con elementos de ancho menor que 3.5 m, y donde los elementos no estén conectados mecánicamente para causar restricciones en la dirección transversal, los requisitos de refuerzo por contracción y temperatura (de refuerzo por contracción y temperatura) en la dirección normal al refuerzo por flexión podrán omitirse. Esto no debe aplicarse a miembros que requieran refuerzo para resistir esfuerzos de flexión transversales.

3.5.1 INTEGRIDAD ESTRUCTURAL

Para las construcciones de concreto prefabricado, las conexiones por tensión deberán proveerse en las direcciones transversal, longitudinal y vertical de la estructura para amarrar efectivamente a todos los elementos.

Las conexiones longitudinales y transversales deberán conectar a los miembros a un sistema lateral para resistir cargas.

Donde los elementos prefabricados formen diafragmas de piso o techo, las conexiones entre los diafragma y los miembros que son soportados lateralmente deberán tener una resistencia nominal a la tensión capaz de resistir no menos de 450 kg/m.

3.5.2 MARCADO E IDENTIFICACIÓN

Cada miembro prefabricado deberá ser marcado para indicar su posición y orientación en la estructura. Las marcas de identificación deberán corresponder a las indicadas en los planos.

3.5.3 MANIOBRAS

El diseño de los miembros deberá considerar las fuerzas y deformaciones durante el curado, descimbrado, almacenaje, transportación y erección.

Estructuras y miembros prefabricados deberán ser adecuadamente soportados y sujetos durante la erección para asegurar un adecuado alineamiento e integridad estructural hasta que se completen las conexiones permanentes.

Los medios de sujeción o rigidización temporales, el equipo de izado, los apoyos provisionales, entre otros, deben diseñarse para las fuerzas que puedan presentarse durante el montaje, incluyendo los efectos del sismo y viento, así como las deformaciones que se prevea ocurrirán durante estas operaciones.

3.5.4 TOLERANCIAS

Deberán especificarse las tolerancias para los miembros prefabricados y los miembros de soporte. El análisis y diseño de las conexiones y de los miembros prefabricados deberán incluir los efectos de estas tolerancias. Los planos deben indicar las tolerancias y las desviaciones máximas aceptables.

Por razones ajenas al comportamiento estructural, tales como aspectos o colocación de acabados, puede ser necesario imponer tolerancias más estrictas que las señaladas en 11.6 (Construcción; tolerancias, NTC-C).

De no satisfacer cualquiera de las tolerancias especificadas, el Corresponsable en Seguridad Estructural, o el Director Responsable de Obra, cuando no se requiera Corresponsable; estudiará las consecuencias que de ahí deriven y tomará las medidas pertinentes para garantizar la estabilidad y correcto funcionamiento de la estructura.

3.5.5 ELEMENTOS COMPUESTOS SUJETOS A FLEXIÓN

Si la resistencia especificada, el peso por unidad, o cualquier otra propiedad de los varios elementos son diferentes, las propiedades de los elementos individuales o los valores más desfavorables críticos se deberán usar en el diseño.

Todos los elementos deberán diseñarse para soportar todas las cargas introducidas previo al completo desarrollo de la resistencia de diseño de los miembros compuestos. La colocación de cargas en elementos prefabricados puede causar deflexiones excesivas como resultado del flujo plástico y la contracción cuando la humedad contenida es alta y la resistencia todavía baja.

Debe verificarse que los dispositivos y procedimientos constructivos empleados garanticen que los miembros prefabricados se mantengan correctamente en su posición, mientras adquieren resistencia las conexiones coladas en el lugar. No se podrá montar un nivel si no se ha alcanzado el 80 por ciento de la resistencia de los colados in situ.

Se deberá proveer el refuerzo requerido para controlar el agrietamiento y para prevenir la separación de los elementos individuales de los miembros compuestos.

APUNTALAMIENTO

Cuando se utilicen apuntalamientos no deberán retirarse hasta que los elementos soportados hallan desarrollado las propiedades de diseño requeridas para soportar todas las cargas y limite de deflexiones y agrietamiento al momento de retirar el apuntalamiento.

RESISTENCIA AL CORTANTE

Cuando un miembro compuesto se diseña para resistir cortante, se podrá considerar que el cortante resistente V_{CR} se calcule con las propiedades de la sección prefabricada.

El refuerzo por cortante deberá estar perfectamente anclado en los elementos.

RESISTENCIA HORIZONTAL AL CORTANTE

Fuerzas cortantes horizontales actúan entre las superficies de elementos compuestos sujetos a flexión. Estas fuerzas horizontales son debido al gradiente de momento resultante de las fuerzas cortantes verticales. Es necesario transferrir totalmente estas fuerzas horizontales a los elementos de soporte para que el elemento no falle en esa parte.

Los elementos resistentes a la fuerza cortante horizontal son la fricción que existe entre los elementos y conectores entre estos. Por lo general los estribos existentes serán suficientes para resistir estas fuerzas, de lo contrario deberán de agregarse conectores adicionales.

A continuación se muestra un método de diseño para el cortante horizontal.

$$\text{Si } a \geq t_f \Rightarrow F_h = f'' c b t_f$$

$$\text{Si } a \leq t_f \Rightarrow F_h = f'' c b a$$

$$F_h = T_{sp} = A_{sp} \times f_{sp} = C$$

$$\text{si } F_h > 2.8 \times F_R \times b_v \times L_{vh} \Rightarrow \text{Necesita conectores}$$

donde: b_v ancho de la superficie de contacto
 L_{vh} longitud del cortante horizontal

Área de acero transversal:

La menor de :

La mayor de :

$$A_{vmin1} = \frac{F_h \times F_{hmin}}{F_R \times 70 \times b_v \times L_{hv} \times f_y}$$

$$A_{vmin2} = \frac{8.4 \times b_v \times L_{hv}}{f_y}$$

A_{vmax1}

A_v

$$A_{vmax2} = \frac{3.5 \times b_v \times L_{hv}}{f_y}$$

$$\text{donde } F_{hmin} \leq \begin{cases} F_h \\ 0.25f' c \times L_{hv} \times b_v \\ 70b_v \times L_{hv} \end{cases}$$

En un miembro compuesto, se deberá asumir la completa transferencia de las fuerzas cortantes en las superficies de contacto de los elementos interconectados.

Esta transferencia entre los segmentos de miembros compuestos deberá asegurarse por medio de resistencia horizontal al cortante en las superficies de contacto o conexiones correctamente ancladas o ambas

Cuando se determine de la resistencia nominal horizontal al cortante sobre elementos de concreto presforzados, d deberá ser como se definió o $0.8 h$, cualquiera que sea el mayor.

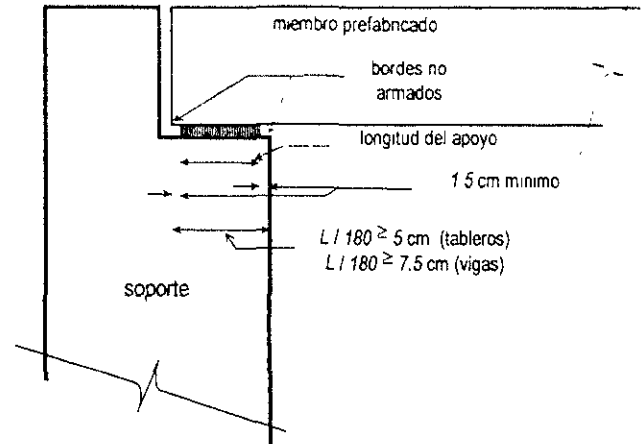


FIGURA 3.1 Longitud del soporte y del miembro sobre el soporte

3.6 CONEXIONES Y SOPORTES

3.6.1 CONEXIONES

El diseño de conexiones deberá incluir condiciones de apoyo y carga desde el inicio de su fabricación hasta su uso en la estructura, incluyendo maniobras, almacenamiento, transportación e izado.

Las conexiones se diseñarán de modo que el grado de restricción que proporcionen esté de acuerdo con lo supuesto en el análisis de la estructura. La resistencia de una conexión a cada fuerza y momento internos que deba transmitir no será menor que 1.3 veces el valor de diseño de dicha acción interna.

Al detallar las conexiones deben preverse las tolerancias y holguras necesarias para la manufactura y el montaje.

La conexión entre elementos prefabricados viga-columna puede efectuarse en las zonas adyacentes al nudo o alejadas del mismo, en ambos casos se deberán cumplir los requisitos siguientes:

- ♣ La resistencia, f_c' , del concreto empleado para formar la conexión entre elementos prefabricados deberá ser al menos igual a la mayor que tengan los elementos que se conectan.
- ♣ El acero de refuerzo localizado en las conexiones de elementos prefabricados, requerido para transmitir esfuerzos de tensión o compresión, deberá ser de grado no mayor que el 42.
- ♣ En las conexiones se deberá colocar estribos de confinamiento (verticales y cerrados) en una cantidad tal que asegure la resistencia de la conexión.
- ♣ Las conexiones deberán ser capaces de transmitir todas las fuerzas y momentos que se presentan en los extremos de cada una de las piezas que unen, con el factor de incremento de 1.3 señalado anteriormente.
- ♣ En las conexiones se deberá asegurar la transmisión adecuada de los esfuerzos de compresión.
- ♣ Si se emplean ductos que atraviesen el nudo deberán ser al menos dos diámetros mayores que la barra que contienen y se rellenarán con lechada que se compactará de modo que asegure la correcta adherencia de las barras.
- ♣ Las superficies de los elementos prefabricados que forman parte de la conexión deberá tener un acabado rugoso de 5 mm de espesor; estas superficies se limpiarán y se saturarán de agua cuando menos 24 horas antes de colocar la conexión. En el colado de la conexión se incluirá un aditivo estabilizador de volumen. Se debe prever que el colado llegará al 100 por ciento de la conexión y no quedarán huecos.
- ♣ Al revisar los extremos de las vigas prefabricadas pretensadas sujetos a momentos negativos, deberá tomarse en cuenta la reducción debida al efecto del presfuerzo.
- ♣ En los elementos prefabricados de sección compuesta se aplicarán los requisitos de 4.1.5. (Disposiciones Complementarias para elementos estructurales comunes, Vigas de sección compuesta, NTC-C).

Las fuerzas serán transferidas entre los miembros por medio de juntas a base de mortero, llaves de cortante, conectores mecánicos, conexiones de acero de refuerzo o una combinación de estos.

La capacidad de las conexiones para transferir fuerzas entre los miembros deberá determinarse por medio de análisis o por pruebas.

Cuando se diseñen conexiones usando materiales con diferentes propiedades estructurales, deberán considerarse su rigidez relativa, resistencia y ductilidad.

Los apoyos para pisos y cubiertas prefabricadas en soportes simples deberán satisfacer lo siguiente:

Con el fin de evitar concentraciones de esfuerzoa debido a pequeñas irregularidades, en elementos simplemente apoyados deberá proveerse superficies de contacto planas. Esto se logrará con superficies metálicas en todo la superficie de apoyo o con tiras de neopreno o materiales semejantes.

El esfuerzo permisible en la superficie de contacto entre los miembros y entre cualquier elemento de apoyo intermedio no deberá exceder la resistencia del apoyo en ninguna de las superficies. La resistencia del concreto en el apoyo deberá ser como se indica en 2.1.4 (Revisión de los estados límite; Aplastamiento, NTC-C).

Al menos que se demuestre mediante pruebas o análisis que la funcionalidad no se afecte, deberán satisfacerse los siguientes requerimientos mínimos.

- a) Cada miembro y su sistema de soporte deberán tener dimensiones de diseño seleccionadas de tal manera que, después de las consideraciones de tolerancia, la distancia desde el borde del soporte hasta el extremo del miembro prefabricado en la dirección del claro sea al menos $L/180$ del claro libre L , pero no menor que:

Para losas sólidas o extruidas	5.0 cm
Para trabes	7.5 cm

- b) Apoyos suaves en bordes no armados deberán colocarse atrás del borde mínimo 1.5 cm desde la cara del soporte, o al menos la dimensión del chaflán para el caso de bordes con chaflán.

En las conexiones de elementos estructurales tales como vigas y columnas, deberá proveerse un confinamiento para traslapes de refuerzo continuo y para anclajes de refuerzo que terminen en tales conexiones

El confinamiento en las conexiones es esencial para asegurar que la capacidad a la flexión del miembro se pueda desarrollar sin que las juntas se deterioren bajo las cargas repetidas.

El confinamiento en las conexiones deberá consistir de concreto exterior o de amarres cerrados, espirales o estribos internos.

3.6.2 CONEXIONES COLUMNA-CIMENTACIÓN

La conexión con cimentación deberá ser capaz de desarrollar las condiciones para las que fue creada. En el caso de candeleros, estos deben tener la profundidad adecuada para que el acero principal en la columna sea capaz de desarrollar la fluencia.

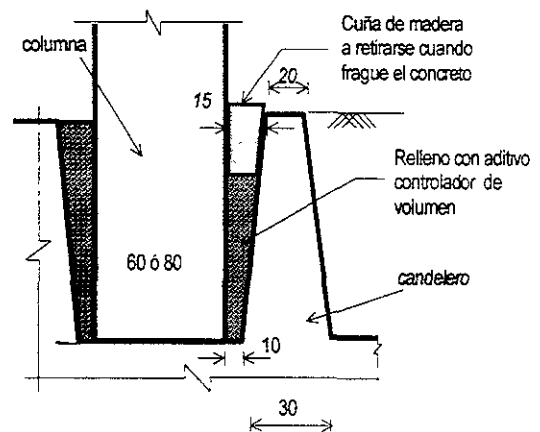


Figura 3.2 Conexión Columna-Cimentación

Capítulo 4

APLICACIONES A OBRAS CIVILES

Los desarrollos de productos, materiales y técnicas ha hecho competitivo el concreto presforzado/prefabricado en una variedad de estructuras residenciales, comerciales, de transporte y de muchos otro tipos.

Gracias a nuevos dispositivos, técnicas mejoradas, desarrollo de nuevos materiales, torones de siete alambres, precolado, agregados, concreto de alta resistencia, curado con vapor y muchas otras innovaciones y soporte técnico y logístico, la industria del concreto presforzado y prefabricado creció y las aplicaciones comenzaron a aparecer en una impresionante variedad de estructuras.

El desarrollo de productos estándares fue una de las mayores actividades; dobles T y losas extruidas son los productos más usados en la construcción. Las dobles T son eficientes para claros hasta de 20 m y claros más largos son posibles con secciones más peraltadas. Las losas extruidas hay disponibles en una variedad de anchos desde 40 cm hasta 2.5 m y son usadas con eficiencia para claros hasta de 12 m.

Las secciones transversales, usadas en la construcción de puentes, de algunos productos comúnmente usados son: vigas I, cajón y T. Las vigas T invertida y rectangular son usadas para estructuras de marcos para soportar los miembros de cubiertas. Las columnas cuadradas o rectangulares con o sin ménsulas son una parte integral del sistema columna-viga-cubierta que hace posible el rápido montaje en todo clima.

Los pilotes se fabrican en una variedad de formas incluyendo circular, cuadrada, hexagonal y octagonal, así como tablaestacas rectangulares. Las losas canal son usadas para soportar pisos pesados o cargas en techos en claros cortos y medianos.

4.1 ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS

Los propietarios y constructores reconocieron rápidamente las muchas cualidades inherentes del concreto presforzado/prefabricado que hacen apropiado para muchos tipos de estructuras de edificios. Las estructuras de concreto presforzado/prefabricado, proveen una flexibilidad superior para lograr los grados requeridos de resistencia al fuego, control de ruido y durabilidad. La disponibilidad de una variedad de materiales y acabados hace virtualmente posible cualquier deseo de carácter estético. Más aún, la velocidad de construcción posible con concreto presforzado/prefabricado minimiza los costos de las labores en campo, reduce los costos de financiamiento y de esta manera provee un ahorro importante al propietario o al constructor.

Las construcciones de muros de carga y marcos de viga-columna, han sido usados exitosamente para varios edificios altos. Se puede disponer de resistencia a cargas laterales por medio de muros de cortante interiores o exteriores, marcos rígidos o alguna otra combinación de estos.

Las construcciones de muros de carga de un solo nivel, proporcionan un ahorro eliminando la necesidad de marcos estructurales en el perímetro. Los paneles de muros por si solos pueden ser seleccionados de una variedad de secciones estandar de paneles planos, y especialmente hechos de formas arquitectonicas prefabricadas. Cualquiera de las unidades de cubierta prefabricadas estándar pueden ser utilizada para techos.

4.1.1 CONSTRUCCIONES VIGA-COLUMNA DE UN SÓLO NIVEL

Cualquiera de las secciones de vigas y columnas estándar prefabricadas pueden ser usadas para estructuras de un solo nivel. La selección del tipo de viga a utilizar depende de las consideraciones tales como la longitud de los claros, número de niveles, cargas sobrepuestas, de la altura de entrepiso y de la expresión arquitectónica deseada.

4.1.2 CONSTRUCCIONES DE MUROS DE CARGA DE VARIOS NIVELES

Las unidades de muros de carga prefabricados pueden ser colados en uno o varias niveles de altura. Las unidades pueden empezar en el segundo nivel con el primer piso consistente en marcos de vigas-columnas para obtener un espacio más abierto en el primer nivel

4.1.3 CONSTRUCCIONES VIGA-COLUMNA DE VARIOS NIVELES

Los marcos de viga-columna son apropiados tanto para edificios altos como para edificios bajos. Las consideraciones de ingeniería y arquitectura dictan la alternativa de vigas continuas con columnas de un solo nivel o de usar columnas de varios niveles con vigas de claros individuales.

4.1.4 SISTEMAS DE MUROS INTERIORES DE CORTANTE

Las cargas laterales son transmitidas por medio de pisos diafragma a una pantalla estructural de muros de cortante prefabricados. Los muros de cortante pueden estar unidos verticalmente y en las esquinas para formar un tubo estructural que se empotra en la cimentación.

4.1.5 SISTEMA DE MUROS DE CORTANTE EXTERIOR

En general, el sistema de muros de cortante exterior permite una mayor flexibilidad en el diseño que el sistema de muros de cortante interior debido a que elimina la necesidad de una pantalla estructural. Por medio de combinar la función de soporte de cargas gravitacionales con la resistencia de cargas laterales, el sistema de muros de cortante exterior es, en general, más económico.

4.1.6 SISTEMA DE MARCOS RÍGIDOS

Todas las cargas laterales son transferidas a marcos resistentes que unen vigas y columnas con conexiones rígidas. La necesidad de muros de cortante se elimina.



4.1.7 EDIFICACIONES RESIDENCIALES

El concreto presforzado/prefabricado tiene una amplia aceptación en departamentos de baja y mediana altura, hoteles y moteles. La superioridad de las cualidades de resistencia al fuego y el control de ruido son especialmente reconocidas por los propietarios y constructores. Las losas extruidas es un producto estándar en este tipo de construcciones.

4.1.8 EDIFICIOS DE OFICINAS

Usualmente resulta un ahorro significativo de tiempo con la elección de una estructura totalmente prefabricada. El montaje de grandes componentes prefabricados puede proceder aún durante condiciones climáticas adversas. Los pisos presforzados proveen una plataforma de trabajo inmediata para permitir un temprano comienzo en los trabajos interiores; mecánicos, eléctricos y de acabados. Los acabados de calidad y el corto tiempo de ejecución resultan en una ocupación temprana, la satisfacción de los residentes y la reducción en los costos de financiamiento. Estos factores hacen un edificio de concreto presforzado/prefabricado, muy apropiado para edificios de oficina.

Los usos del concreto presforzado/prefabricado en construcciones de edificios de oficina son muchos, desde sistemas completos de edificios hasta productos individuales como escaleras. Las vigas, columnas y pisos de concreto presforzado/prefabricado son utilizados en sistemas de marcos; los muros de cortante pueden ser usados solos o en conjunto con vigas y columnas para resistir cargas laterales. Las escaleras de concreto prefabricado proveen un uso seguro, inmediato y económico.

4.1.9 ALMACENES Y EDIFICIOS INDUSTRIALES

La habilidad del concreto presforzado/prefabricado para soportar cargas pesadas en claros de largas distancias con alturas pequeñas, es particularmente apropiado para almacenes y edificios industriales. Muros de concreto presforzado/prefabricado estándar, aislante o no aislante, son muy económicos para almacenes y aplicaciones de manufactura ligera. Los sistemas completos prefabricados con techos diafragma presforzados/prefabricados y muros de cortante pueden proveer a los propietarios de un completo "paquete estructural". Hay disponible una amplia variedad de acabados de muros.

En proyectos industriales pesados, las unidades de piso prefabricado capaz de soportar las cargas típicas de pisos pesados pueden combinarse con otros componentes prefabricados para construir, sistemas estructurales versátiles y resistentes a la corrosión. Los marcos prefabricados pueden ser diseñados para acomodar una variedad de sistemas mecánicos y para soportar grúas de uso industrial. La alta calidad del concreto prefabricado provee protección contra el fuego, la humedad y una variedad de sustancias químicas. La superficie lisa lograda en concreto prefabricado lo hace ideal para procesos de manufactura y operaciones de almacenaje. Claros libres de 12 m y 25 m son posibles usando losas de núcleo hueco y dobles T, respectivamente. Aún claros mayores cerca de 45 m pueden obtenerse con vigas tipo puente.

4.1.10 OTRAS ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS

Los beneficios del concreto presforzado/prefabricado lo hacen apropiado para muchos otros tipos de edificación además del residencial, de oficina e industrial, edificios comerciales tales como tiendas departamentales y edificios públicos incluyendo hospitales, bibliotecas, y terminales aéreas. EL concreto presforzado/prefabricado ha sido usado también efectivamente en numerosos proyectos de reparación.

4.2 ESTRUCTURAS DE ESTACIONAMIENTOS

Cada vez más, arquitectos, ingenieros, constructores y propietarios están cambiando al concreto presforzado/prefabricado como la respuesta a sus necesidades de estacionamiento comercial, municipal e institucional. Aunque se clasifican y se construyen como edificaciones, las estructuras de estacionamiento son únicas; de algún modo, se pueden comparar a los puentes con múltiples cubiertas. Estos están sujetos a cargas móviles del tráfico de los automóviles y el nivel de techo de la estructura del estacionamiento está expuesta al clima en mucho de la misma manera como un losa de puente. Más aún, usualmente los

estacionamientos no están cubiertos y de esta manera la estructura completa esta sujeta a las condiciones del medio ambiente. También, expuestas a descongelantes en climas frios o a atmósferas salinas en localidades costeras requieren consideraciones para asegurar durabilidad y funcionalidad a largo tiempo.

Las condiciones controladas de un concreto prefabricado en planta aseguran la calidad del concreto y la mano de obra que provee larga durabilidad. La baja relación agua-cemento del concreto que usan los fabricantes de concreto prefabricado ha probado aumentar la resistencia a la corrosión. Estudios han mostrado que el curado acelerado hace al concreto prefabricado más resistente que el curado del concreto en campo.

Esta característica de durabilidad inherente junto con un bajo costo, montaje rápido en todas condiciones de clima, expresión ilimitada de arquitectura y claros libres largos hace del concreto prefabricado la elección natural para estructuras de estacionamiento.

La expansión vertical de estructuras de estacionamiento de concreto prefabricado puede ser económicamente terminadas con grúas especiales que carguen nuevos miembros sobre las cubiertas colocadas. Este método de montaje también permite considerar el concreto prefabricado para expansión de estructuras de concreto no prefabricadas.

El concreto prefabricado arquitectónico es usado con todo tipo de sistemas de marcos. Provee una cortina de muro económica, contra incendios, contra ruido, durable, libre de mantenimiento que permite al arquitecto mucha libertad de expresión y resulta en bellas fachadas.

El concreto prefabricado arquitectónico provee muchos grados de libertad para la expresión arquitectónica con la economía de producción en masa de elementos prefabricados. Puede servir sólo como cubierta para la estructura, o también puede ser diseñada para soportar cargas por gravedad. Ahora se está tomando en cuenta para contribuir a la resistencia a cargas laterales de los marcos estructurales.

EL concreto prefabricado arquitectónico puede colarse en casi cualquier color, forma o textura para satisfacer los requisitos prácticos y estéticos. Los efectos especiales de escultura pueden proveer de tal expresión visual como resistencia y volumen, o gracia y espacio. La flexibilidad de diseño es posible tanto en color como en textura variando los agregados y los colores, el tamaño de los agregados y el proceso de acabado. Se logra flexibilidad adicional de expresión estética al colar varios otros materiales como revestimiento en la cara de los paneles prefabricados. Piedra natural, granito, caliza, mármol, y productos de arcilla tales como ladrillos y loseta han sido frecuentemente utilizados como materiales de revestimiento.

Adicionalmente a la libertad de expresión estética lograda con soportes de carga o soportes no cargados de concreto prefabricado arquitectónico, hay otras ventajas importantes funcionales y constructivas. En construcciones de concreto coladas en sitio, los paneles prefabricados de concreto son usados algunas veces como parte integral de la estructura. El preensamblado en planta de todos los componentes en un sistema total de muros, puede ser también muy eficiente en costo.

4.3 ESTADIOS, ARENAS Y GRADERÍOS

Los estadios y arenas son estructuras impresionantes. En ocasiones estos proyectos se construyen en tiempos cortos para programar algún evento deportivo importante. El concreto presforzado/prefabricado ha sido la elección generalizada para muchos de estos proyectos. La técnica de postensar segmentos precolados juntos ha permitido a este versátil material formar complicados brazos en cantiliver. La producción en masa de unidades de asientos han sido manufacturadas en una variedad de configuraciones y claros para proveer su rápida instalación y durabilidad. La habilidad para eliminar el costoso andamiaje en campo, hace del concreto presforzado/prefabricado la mejor opción para muchos componentes de construcciones de estadios, especialmente asientos que pueden estandarizarse para tomar ventaja de su utilización de forma repetida.

Las ventajas de la prefabricación para este tipo de obras son las de reducir los tiempos de construcción, tener programas de financiamiento de recuperación reducidos además de la versatilidad en la construcción y la belleza arquitectónica. Los elementos utilizados en estas obras son principalmente columnas prefabricadas, traveses T presforzados y escalones prefabricados.

4.4 PUENTES

La construcción de puentes dio comienzo a la industria del presfuerzo. El concreto presfuerzo/prefabricado es ahora el material estructural dominante para puentes de claros cortos y medianos. Con su durabilidad inherente, bajo mantenimiento y calidad asegurada, el concreto presfuerzo/prefabricado es un producto natural para la construcción de puentes. La habilidad de la rápida colocación de componentes de concreto prefabricado en todo tipo de climas con pequeñas interrupciones de tráfico se adiciona a la economía del trabajo. Para claros cortos (hasta de 30 m), el uso de secciones cajón y dobles T han probado ser económicas. De cualquier manera, el producto más común para claros cortos y medianos es la viga I, en México la trabe cajón con aletas. Claros de 45 a 48 m son comunes con vigas I y T.

Una innovación reciente en la construcción de puentes ha sido el uso del concreto prefabricado en puentes curvos horizontalmente.

4.5 REPRESAS DE NAVEGACIÓN



Inicialmente, la manera general de proceder en la rehabilitación de los muros de represas era usando materiales y métodos normalmente asociados con nuevas construcciones de concreto; remover 30 a 90 cm del concreto deteriorado de la cara del muro de la represa y reemplazarlo con concreto convencional con aire incluido. Uno de los problemas más persistentes en la reparación de muros de represas con este procedimiento era el agrietamiento en el concreto reemplazado. Estas grietas, que se extendían completamente a través del concreto reemplazado, fueron atribuidas en un principio a la

resistencia proveída a través de la junta del concreto existente. Como la relativamente delgada capa de recubrimiento de concreto tiende a contraerse como resultado de la contracción, gradientes térmicos y cambios volumétricos, se desarrollan esfuerzos de tensión en el concreto reemplazado. Cuando estos esfuerzos exceden la capacidad de esfuerzo de tensión último del concreto reemplazado, se desarrollan las grietas.

4.6 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

La utilización de elementos prefabricados en la construcción de tanques de almacenamiento de agua se basa en elementos prefabricados de concreto denominados tabletas, los cuales se colocan para formar los muros del tanque y posteriormente se postensan conjuntamente con la cimentación colada en sitio.

Recientemente se utilizó un procedimiento para prefabricar tanques de almacenamiento de agua de grandes dimensiones. El procedimiento usado permitió prefabricar incluso la losa tapa del tanque.

Estos tanques tienen aproximadamente 25 m de diámetro y 10 m de altura interior. Están contruidos con elementos T en sus caras y dos traveses radiales que realizan el trabajo de compresión o zuncho.

La tapa del tanque esta realizada con traveses T de ancho variable radial que permite su prefabricación y apoyadas en un elemento al centro. En estos tanques, el concreto colado en sitio fue la cimentación y parte de las traveses radiales de los mismos.

4.7 MUROS DE RETENCIÓN DE TIERRAS

La utilización de muros de contención de tierras permite una solución estética y ecológica para las validades deprimidas en zonas urbanas.

El uso de los paneles y postes de concreto prefabricado para la construcción de muros de retención y barreras de sonido, ofrece varias ventajas, tales como el control de la calidad de los materiales y la fabricación, reduce el tiempo de construcción, movilidad, durabilidad y estética. También son económicos.

4.8 TÚNELES

Los componentes prefabricados se han utilizado para la rehabilitación y la construcción de túneles. EL uso de componentes prefabricados reduce el tiempo de construcción, facilita los trabajos y reduce los costos de trabajo en campo.

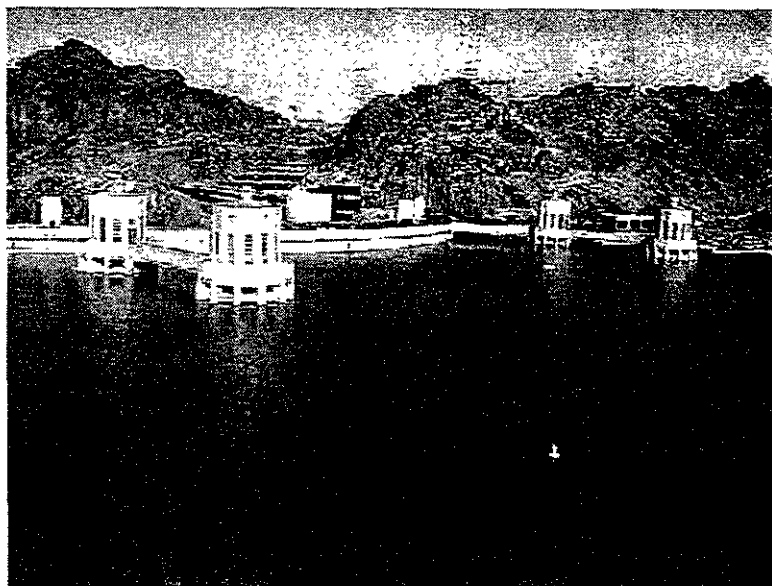
En algunos casos (p.e. Los túneles Sumner y Callahan, en Boston EUA) se han empleado mezclas de polímeros de concreto. Se seleccionó el polímero de concreto debido a su alta resistencia a la compresión, aproximadamente 1050 kg/cm^2 , y su alto módulo de elasticidad. Debido a estas características, los componentes de polímeros de concreto son más delgados y por lo tanto más ligeros que los paneles de concreto prefabricado convencional. El tamaño y peso son factores importantes para la selección en los casos de espacios reducidos. También, el polímero forma una barrera impenetrable, haciendo de la superficie de los paneles resistente a los ciclos de congelación y deshielo de climas fríos, sales, ácidos corrosivos y agentes químicos, y tampoco son afectados por detergentes, cepillos ni chorros de agua a presión utilizados para la limpieza de las paredes de los túneles.

4.9 METROPOLITANO

La construcción de sistemas de transporte colectivos, Metro, se han utilizado elementos prefabricados en sus diferentes etapas. En tramos subterráneos se ha seguido utilizando el proceso de excavación a cielo abierto, después del cual se construye un cajón de concreto, el cual va a contener las vías y el tránsito de los vagones del metro, finalmente, se tapa el cajón con tabletas de concreto presforzado/prefabricado, sobre las cuales se procede a colocar el relleno y finalmente reconstruir las avenidas, para permitir la circulación de vehículos sobre las líneas del Metropolitano.

En el caso de las líneas elevadas del Metro, éstas están conformadas por traveses de concreto presforzado/prefabricado, que se colocan sobre columnas y quedan elevadas en las validades, permitiendo la circulación a lo largo de la línea del Metropolitano.

Este procedimiento se ha utilizado dadas las ventajas que ofrecen los sistemas prefabricados de rapidez, ya que la interrupción de la circulación de las calles afectadas es en tiempos muy cortos, la circulación sobre las avenidas perpendiculares, también es afectada por espacios breves de tiempo, ya que la estructura es colocada y una vez generada la zona de circulación, el resto de los trabajos electromecánicos en las vías del Metropolitano se pueden construir con circulación en las calles inferiores.



ESTA TESIS NO SALIÓ
DE LA BIBLIOTECA

4.10 CUBIERTAS

Los elementos de concreto presforzado para cubiertas ofrecen una alternativa de gran calidad para cubrir las necesidades de grandes claros libres y grandes alturas. Comúnmente se utilizan traveses cajón, cuyo centro aligerado permite reducir el peso de las mismas y la colocación de elementos entre ellas, alternando elementos de cubierta opacos con traslúcidos y así obtener iluminación natural.

La aplicación de los prefabricados para los grandes claros y cubiertas posee las características de calidad y seguridad estructural adecuadas, ya que al tener un control de calidad más estricto que los colados en sitio, permite solucionar adecuadamente los retos que estas estructuras plantean.

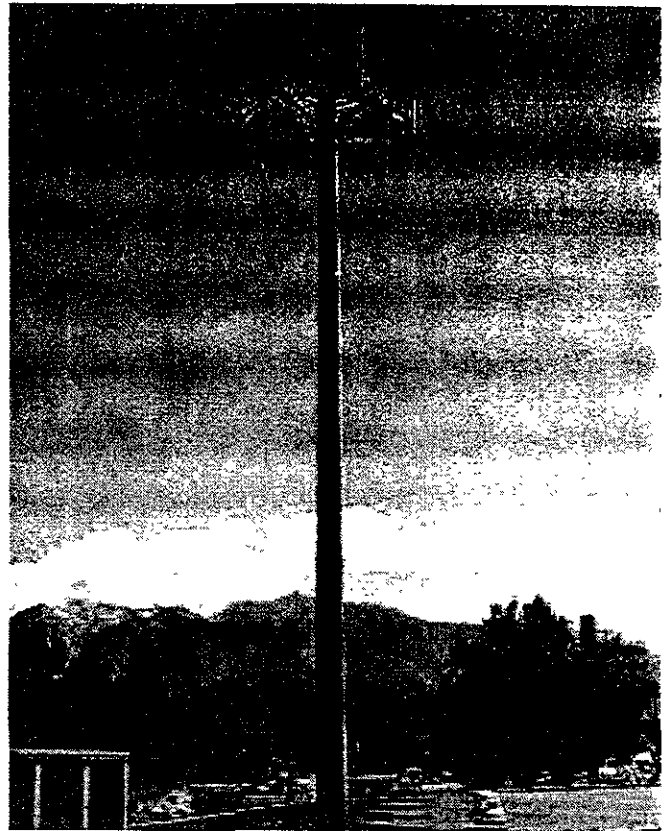
Asimismo, la apariencia de los elementos de concreto expuestos, poseen un acabado más estético, ya que fueron colados en moldes metálicos, por lo que el acabado final del elemento de concreto es más terso y de apariencia más fina.

4.11 ESTRUCTURAS MARINAS

El concreto prefabricado posee las características adecuadas para soportar las condiciones extremas de ataque de la corrosión del agua de mar, los fuertes vientos que se convierten en grandes tormentas y producen olas que chocan constantemente en la base de las estructuras. Los icebergs que están a la deriva, como sucede en el mar del Norte, pueden llegar a chocar con las estructuras de las plataformas marinas. Las bajas temperaturas y los ciclos de congelamiento y deshielo que se producen en estas latitudes, son también lo que ha requerido del prefuerzo en el concreto para soportar los esfuerzos a los que se ven sometidas estas estructuras durante estos eventos.

4.12 OTRAS ESTRUCTURAS

Las cualidades inherentes del concreto presforzado/prefabricado mencionadas anteriormente y el alto grado de flexibilidad en el diseño, lo hace ideal para una amplia variedad de aplicaciones especiales. Las propiedades, tales como la resistencia a la corrosión, la resistencia al fuego, la durabilidad y su rápida instalación, han sido utilizadas en la construcción de postes, pilotes, tanques de almacenamiento, muros de retención y barreras de sonido. Los componentes prefabricados pueden económicamente proveer la calidad de productos manufacturados en planta, mientras se eliminan procedimientos costosos y de riesgo en campo.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de este trabajo se revisaron la Normas Técnicas Complementarias de Concreto del RCDF, el reglamento del ACI, el manual del PCI, los reglamentos del AASHTO y el OHBDC y el inédito manual de ANIPAC. De esta manera en su elaboración se logró identificar algunas de las discrepancias que existen, no entre todos estos reglamentos.

Se propusieron cambios principalmente en la redacción y en la inclusión de figuras, tablas y gráficas. Se incluyeron nuevos contenidos y se eliminaron algunos más.

Este trabajo, así como todos los que se relacionen con el tema, deben ser revisados tanto por investigadores como por los ingenieros y empresarios que se relacionan con el diseño, la fabricación, manejo y montaje de elementos prefabricados y presforzados para que con sus conocimientos y experiencia hagan sugerencias para las modificaciones de las NTC-C previo a su edición.

Deben hacerse más investigaciones sobre los temas que no han sido muy estudiados, principalmente los que relacionan el comportamiento de las estructuras prefabricadas/presforzadas que se construyen en México con los sismos, para poder hacer las reglamentaciones pertinentes que aseguren en buen comportamiento de las estructuras. Afortunadamente existen dos casos recientes de investigaciones de modelos de laboratorio de estructuras prefabricadas que ayudan a avanzar en esta línea.

En vista de las nuevas aperturas de mercados internacionales, también es necesario homogeneizar y estandarizar los sistemas de unidades, por lo que habrá que considerar en las revisiones la conversión de unidades de las expresiones contenidas en este trabajo para transformarlas al Sistema Internacional de Unidades.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO, 1996, Standard Specifications for Highway Bridges.

AASHTO, 1994, LFRD Bridge Design Specifications.

Deflexiones de estructura de concreto reforzado y presforzados, IMCYC.

Nilson, A. 1982, Diseño de estructuras de concreto. presforzado, Limusa.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

Ontario Highway Bridge Design Code, Quality and Standards División, Ministry of Transportation, Ontario

PCI, 1973, Manual on design of connections for precast prestressed concrete.