



UNIVERSIDAD NACIONAL

AUTONOMA

Señor DAVID GALLEGOS CASILLAS,
P r e s e n t e .

28
73

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Constancio Rodríguez Cabello, para que lo desarrolle como TRABAJO ESCRITO en opción de tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"PRESFUERZO PARCIAL"

1. Introducción.
2. Comportamiento de elementos parcialmente presforzados.
3. Aspectos económicos.
4. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del trabajo escrito, el título del trabajo realizado.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, 19 de junio de 1984

EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

BIBLIOTECA CENTRAL



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

- CAPITULO I INTRODUCCION.
- 1.1 OBJETIVOS DEL TRABAJO ESCRITO.
- 1.2 DEFINICIONES:
 ELEMENTOS DE CONCRETO TOTALMENTE PRESFORZADOS.
 ELEMENTOS DE CONCRETO PARCIALMENTE PRESFORZADOS.
 ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS.
- 1.3 MODALIDADES DEL PRESFUERZO.
- 1.4 GENERALIDADES DEL PRESFUERZO PARCIAL.
- CAPITULO II COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PARCIALMENTE
 PRESFORZADOS.
- 11.1 ESTADO EN CONDICIONES DE SERVICIO.
 11.1.1 AGRIETAMIENTO.
 11.1.2 DUCTILIDAD.
 11.1.3 DEFLEXIONES.
- 11.2 RESISTENCIA.
- CAPITULO III ASPECTOS ECONOMICOS.
- CAPITULO IV CONCLUSIONES.

CAPITULO I. INTRODUCCION

Las primeras experiencias con el presfuerzo se tuvieron en la construcción de barcos y barriles y posteriormente en su aplicación para fines ingenieriles, sin embargo, no se extendió su uso debido a que se tuvieron malas experiencias al no tomar en cuenta las pérdidas de presfuerzo a largo plazo.

El primero en tener una idea clara de lo que significa presforzar un elemento estructural fue Eugenio Freyssinet, siendo el quien introdujo el factor tiempo dentro de las pérdidas de presfuerzo.

E. Freyssinet concibió como un elemento presforzado a aquel que mediante un procedimiento, antes o al mismo tiempo de aplicadas las cargas es sometido a esfuerzos, los cuales combinados con las acciones externas anulan los esfuerzos de tensión o los mantienen en un rango aceptable.

Una definición de presfuerzo que se puede considerar complementaria de la anterior es la expuesta por T.Y. Lin, quien definió el presforzar como la introducción de esfuerzos permanentes en una estructura con el propósito de mejorar su comportamiento bajo cargas de servicio, obteniéndose además la

resistencia requerida con un ahorro considerable de acero.

1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO ESCRITO

El presente material tiene como finalidad el dar a conocer algunos aspectos relacionados con los elementos de concreto parcialmente presforzados como una opción de diseño intermedio entre el presforzado total y el reforzamiento ordinario, iniciando con la definición correspondiente a cada uno de estos elementos, las modalidades del presfuerzo y las generalidades del presfuerzo parcial; posteriormente haciendo mención al comportamiento y resistencia de los elementos parcialmente presforzados para finalizar con algunos aspectos económicos y comentarios adicionales referidos a los mismos.

1.2 DEFINICIONES

La definición dada por Eugenio Freyssinet para los elementos presforzados implica tanto a los elementos parcialmente presforzados como a los totalmente presforzados de tal manera que se puedan definir como sigue:

- Elementos de concreto totalmente presforzados.

Son aquellos en los que para condiciones de servicio, los esfuerzos inducidos por la fuerza de presfuerzo anulan completamente los esfuerzos de tensión ocasionados por las cargas externas.

Este tipo de elementos solo contienen acero de presfuerzo el cual en el inicio de la falla resiste los esfuerzos de tensión ocasionados por la flexión.

- Elementos de concreto parcialmente presforzados.

Son aquellos en los que para condiciones de servicio los esfuerzos inducidos por la fuerza de presfuerzo anulan parte de los esfuerzos de tensión ocasionados por las cargas externas; en este caso se requiere acero de refuerzo presforzado y no presforzado para resistir los esfuerzos de tensión ocasionados por la flexión en el inicio de la falla.

Por otra parte, utilizando una terminología semejante a la de las anteriores definiciones puede definirse un elemento de concreto reforzado de la siguiente manera.

- Elementos de concreto reforzado.

Son aquellos en los que los esfuerzos de tensión ocasionados por las cargas externas actuantes en el inicio de la falla son resistidos totalmente por el acero de refuerzo ordinario. Esto implica que los esfuerzos en todas sus secciones son ocasionados solo por las cargas externas, es decir que no se tiene acero de presfuerzo.

A partir de las definiciones anteriores se puede concluir que los elementos presforzados parcialmente son una clase intermedia entre la de los elementos totalmente presforzados y la de los elementos de concreto reforzado.

1.3 MODALIDADES DEL PRESFUERZO

Tomando en cuenta si la etapa de colado es antes o después del tensado de los tendones de presfuerzo y además si la anulación de los esfuerzos de tensión es total o parcial se tienen las siguientes modalidades del presfuerzo.

i) Elementos pretensados.

Son elementos prefabricados en los cuales los tendones se tensan antes de colocar el concreto, estos elementos casi siempre son isoestáticos con cables de trayectoria recta, en los que la acción del presfuerzo es interna o sea que el anclaje es por adherencia.

Adicionalmente estos elementos pueden ser total o parcialmente pretensados.

ii) Elementos postensados.

Son elementos prefabricados o colados en la obra, isoestáticos o hiperestáticos, cuyos tendones de presfuerzo casi siempre son de trayectoria curva. En este tipo de elementos los cables se tensan después de colar el concreto, en ellos la acción del presfuerzo es externa o sea que los tendones de presfuerzo se anclan mecánicamente.

Estos elementos pueden ser además total o parcialmente postensados.

iii) Elementos pretensados-postensados.

Son elementos prefabricados en los cuales el tensado de parte de los tendones se realiza antes del colado del concreto y la otra parte después, o sea que tienen características de pretensado y postensado a la vez.

Además pueden ser pretensados-postensados total o parcialmente.

1.4 GENERALIDADES DEL PRESFUERZO PARCIAL

Los elementos parcialmente preforsados son aquellos en los que se utiliza acero de refuerzo preforsado y no preforsado, cuya combinación permite proveer una adecuada resistencia a la flexión.

Bajo cierto nivel de cargas de servicio los elementos parcialmente preforsados se agrietan, por lo que es necesario colocar acero de refuerzo ordinario en la zona de tensión a fin de restringir las grietas y con ello la excesiva corrosión del acero.

Este tipo de elementos son más esbeltos y más ligeros que los de concreto reforzado, pudiendose con ellos liberar claros más grandes y además soportar cargas de mayor magnitud.

La mayoría de los elementos parcialmente preforsados son pretensados y rara vez son pretensados-postensados pues en este caso se tienen costos adicionales muy altos.

Por medio del preforsado parcial se pueden diseñar elementos cuyo comportamiento mejora en algunos aspectos a el de los elementos totalmente preforsados, sin embargo, en zonas con medio ambiente extremadamente agresivo su uso no es conveniente, por lo que en estas condiciones son aventajados por los totalmente preforsados.

CAPITULO II. COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PARCIALMENTE PRESFORZADOS

Como se muestra en la figura, el comportamiento de los elementos parcialmente presforzados desde el momento de la transferencia de la fuerza de presfuerzo hasta la falla del elemento puede representarse por medio de una gráfica carga deflexión, en la cual las condiciones mas relevantes son:

- Transferencia de la fuerza de presfuerzo (P_p), en este instante el elemento adquiere una deflexión negativa ocasionada por la excentricidad de la fuerza de presfuerzo, en contraposición de esta deflexión solo actua el peso propio del elemento.

- Carga balanceada (P_b), es la carga actuante que produce un momento flexionante igual al inducido por la fuerza de presfuerzo, en ésta condición la distribución de esfuerzos es uniforme y la deflexión es nula.

- Carga de descompresión (P_d), es la carga externa actuante para la cual en la fibra extrema del elemento el esfuerzo actuante es nulo.

- Carga de Agrietamiento (P_a), es la carga externa actuante para la cual en la fibra extrema del elemento el esfuerzo de tensión es igual al módulo de ruptura del concreto, lo cual ocasiona el agrietamiento.

- Carga de Fluencia (P_f), es la carga externa actuante que ocasiona la fluencia de todo el acero de tensión.

- Carga Última (P_u), es la carga actuante para la cual el elemento falla.

A groso modo lo anterior es el comportamiento de los elementos parcialmente presforzados sujetos a flexión, sin embargo, en condiciones de servicio se tiene un rango en el que trabajan estos elementos.

II.1 ESTADO EN CONDICIONES DE SERVICIO

Además en la figura se muestra el rango de cargas de servicio en las que trabajan los elementos parcialmente presforzados, donde se puede observar que bajo cierto nivel de carga se encuentran agrietados. Tomando en cuenta esto, es recomendable que las grietas permanezcan cerradas o casi cerradas para condiciones de carga normales y que bajo cargas muertas se cierren por completo.

En la curva de comportamiento de los elementos parcialmente presforzados se puede observar que en el rango posterior al agrietamiento un incremento de la carga externa induce incrementos de deflexión mayores que en el rango anterior, esto se debe a que los elementos agrietados pierden rigidez angular, no obstante, bajo el mismo nivel de carga, las deflexiones que presentan estos miembros son menores a las que presentan los elementos de concreto reforzado ordinario, lo cual se debe al

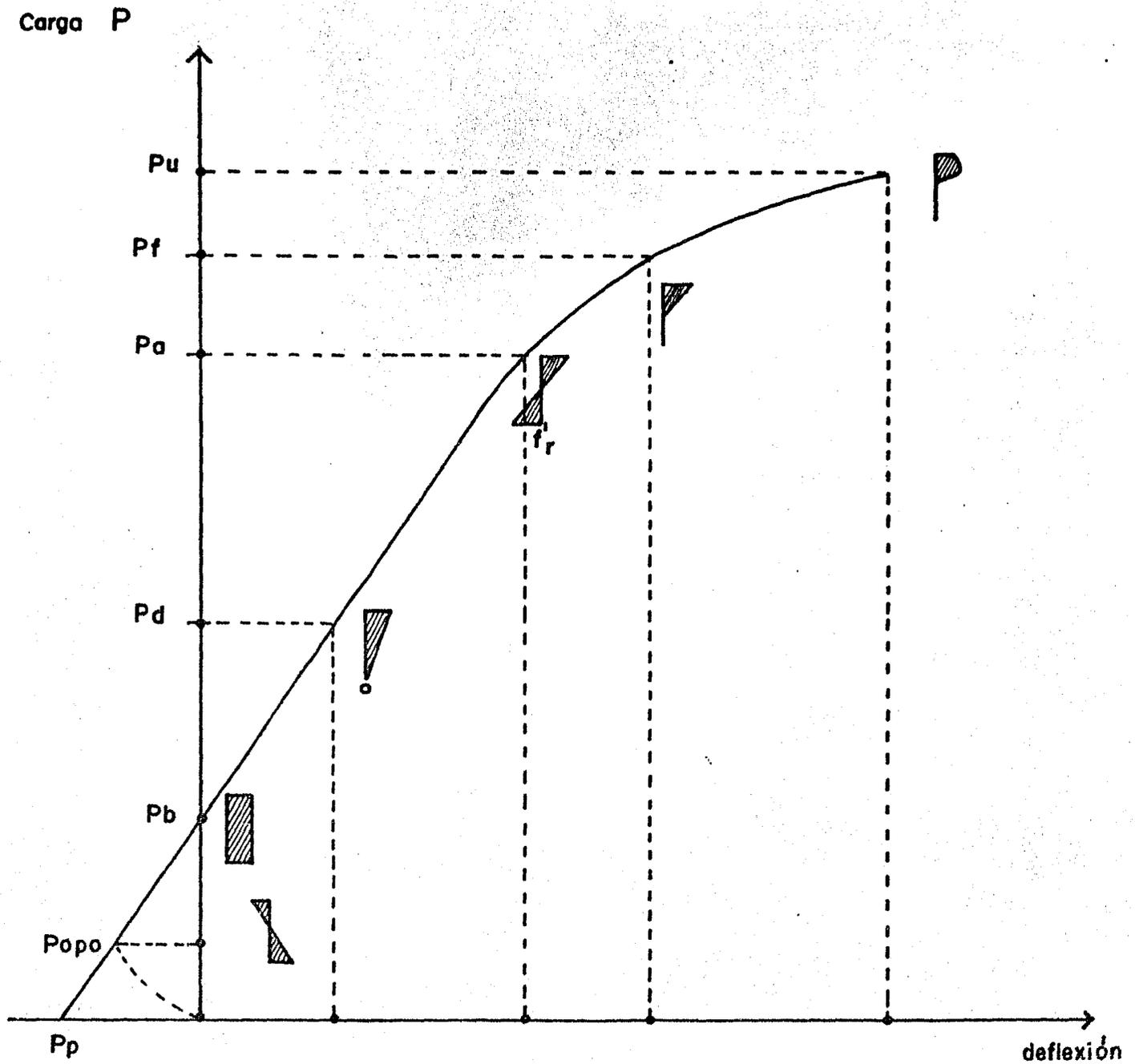


FIGURA. II. I CURVA DE COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PARCIALMENTE PRESFORZADOS.

mayor agrietamiento de estos últimos y a la deflexión negativa que presentan los elementos parcialmente presforzados.

En algunos experimentos se ha observado que los elementos parcialmente presforzados sometidos a cargas repetidas presentan grandes incrementos de ancho de grieta y de deflexión debido a que los esfuerzos en ambos tipos de acero crece en un rango considerablemente grande, lo que puede ocasionar la falla por fatiga.

11.1.1 AGRIETAMIENTO.

El agrietamiento en los elementos parcialmente presforzados se presenta por primera vez al tenerse en el sección esfuerzos de tensión mayores que el módulo de ruptura del concreto, sin embargo, las grietas se hacen mas pequeñas o se cierran por completo al disminuir la carga externa, según sea ésta mayor o menor que la carga de descompresión.

El agrietamiento excesivo en los elementos estructurales debe evitarse para lograr un buen aspecto estético y además para tener un adecuado control de la corrosión y las deformaciones, esto se toma en cuenta en los diferentes reglamentos de construcción mediante la limitación de los esfuerzos de tensión en el acero de refuerzo no presforzado y del incremento de esfuerzos en el acero de presfuerzo después de la descompresión, o el esfuerzo de tensión en el concreto.

En el reglamento Suizo y Australiano se fija un esfuerzo de tensión máximo de 150 MPa para restringir el ancho de grieta aproximadamente a 0.2 mm, lo cual mediante algunos experimentos se ha observado que da excelentes resultados ya que solo exceden a este límite las vigas sin refuerzo ordinario y con bajo nivel de presfuerzo, teniéndose para los elementos

parcialmente presforzados, comunmente utilizados, anchos de grieta menores de 0.2 mm.

Adicionalmente, los resultados de pruebas indican que el ancho de grieta depende tanto del recubrimiento de acero de tensión como de la cantidad de acero suplementario, siendo más eficiente colocar este acero lo más cerca posible de la fibra extrema de tensión, sin embargo, aun cuando a mayor cantidad de acero suplementario se obtienen grietas menos anchas no es recomendable colocar un alto porcentaje de este acero ya que ello puede ocasionar un sobrefuerzo del elemento y además por que se ha observado que esto trae consigo mayores pérdidas de presfuerzo.

Los elementos con tendones no adheridos requieren mayor cantidad de acero de refuerzo ordinario pues presentan mayor agrietamiento que los elementos con tendones adheridos, y además porque su resistencia es menor a la de estos últimos, lo cual debe compensarse mediante la inclusión de más acero.

Los anchos de grieta límite especificados en el reglamento de nueva Zelanda y en el Instituto Británico de Londres son los de las Tablas 11.1 y 11.2 respectivamente.

TABLA 1.1 ANCHO DE GRIETA EN mm.

Exposición	Cargas permanentes además de cargas variables de larga duración o cargas repetidas frecuentemente.	Cargas de Servicio que no se incluyen en la anterior.	Cargas Perma- nentes más cargas Transito- rias.
Interna	0	0.2	0.3
Externa	0	0.1	0.3
Agresiva	0	0	0.1

Si esta información no es conocida se puede proceder a calcular el esfuerzo de tensión en el concreto asumiendo una sección sin agrietar aún cuando se exceda el módulo de ruptura, dicho esfuerzo debe estar comprendido entre 0 y $0.5\sqrt{f'_{cMPa}}$ según la categoría de carga.

TABLA 11.2

EXPOSICION	PARA TODA CATEGORIA DE CARGA
Interna y Externa	0.2
Extremadamente agresiva	0.1

Como se puede observar las dos tablas anteriores limitan el ancho de grieta según la categoría de carga sin tomar en cuenta el recubrimiento del concreto, lo que sí es considerado en la tabla propuesta por el reglamento de la Federación Internacional de Presfuerzo presentada a continuación.

TABLA 11.3 ANCHO DE GRIETA EN mm

Exposición	TIPO DE CARGA		
	Frecuente	Permanente	Rara
Leve	0.2	0.1	----
Moderado	0.1	Compresión	----
Severo	Compresión	Compresión	0.1

Estos valores pueden ser incrementados hasta 50% proporcionalmente a:

$$\frac{r}{r_{\min}} = \frac{\text{Recubrimiento utilizado}}{\text{Recubrimiento mínimo permisible}}$$

11.1.2 DUCTILIDAD

Los resultados de pruebas llevadas a cabo con elementos parcialmente presforzados demuestran que estos elementos son más dúctiles que los elementos totalmente presforzados, lo cual se debe a la inclusión de varillas de refuerzo ordinario, sin embargo, no es recomendable diseñar miembros sobrerreforzados o con poca cantidad de acero ya que estos elementos presentan fallas de tipo frágil.

Para asegurar un comportamiento dúctil de los elementos parcialmente presforzados, en la práctica se hace lo siguiente:

- Se revisa que tanto el acero de refuerzo ordinario como el acero de presfuerzo fluyan al alcanzarse la resistencia en flexión del elemento.

- Y además se revisa que el elemento no falle prematuramente después de presentarse el agrietamiento, para lo cual se recomienda que el momento último resistente sea cuando menos veinte por ciento mayor que el momento de agrietamiento de la sección.

- O bien, se revisa que la cuantía de acero total esté entre los límites mínimo y máximo especificados en el reglamento correspondiente.

En cuanto a las estructuras sometidas a sismos, debe asegurarse un comportamiento dúctil en las zonas de articulaciones plásticas mediante la colocación de acero longitudinal en varios niveles del peralte y estribos cerrados con espaciado reducido.

11.1.3 DEFLEXIONES

Mediante el presforzado de los elementos estructurales es posible controlar las deflexiones, sin embargo, es muy complicado el predecirlas ya que la fuerza de presfuerzo varía con el tiempo y además porque el flujo plástico del concreto las afecta.

Para llevar a cabo el cálculo de las deflexiones debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- Las deflexiones negativas instantáneas ocasionadas por la fuerza de presfuerzo inicial se reducen debido a las pérdidas de presfuerzo y se ven incrementadas debido al flujo plástico del concreto.

- Las deflexiones instantáneas producidas por las cargas externas se incrementan debido al flujo plástico del concreto.

- La deflexión total de un elemento se obtiene al superponer las deflexiones debidas a las cargas externas y las ocasionadas por el presfuerzo.

- Las deformaciones posteriores al agrietamiento deben calcularse en base al momento de inercia efectivo de la sección.

- El efecto del flujo plástico del concreto sobre las deformaciones puede reducirse considerablemente balanceando el momento flexionante inducido por la fuerza de presfuerzo y el correspondiente a las cargas permanentes.

Dependiendo del tipo de elemento estructural, los reglamentos de construcción especifican valores permisibles de

la deflexión, los cuales si son excedidos será necesario suministrar una cantidad mayor de acero de refuerzo ordinario, en cuyo caso debe revisarse que no se sobrerrefuerce el elemento.

11.2 RESISTENCIA

El criterio de resistencia consiste en multiplicar los elementos mecánicos actuantes en la sección crítica por un factor de carga, obteniéndose así los elementos mecánicos de diseño, de estos debe tenerse que los actuantes deben de ser menores que los resistentes para que la sección considerada sea adecuada. Adicionalmente debe revisarse que la falla potencial sea de tipo dúctil.

RESISTENCIA EN FLEXION

El cálculo de la resistencia de los elementos parcialmente presforzados sometidos a flexión se realiza a partir del equilibrio de fuerzas internas, de manera semejante a como se calcula para los elementos de concreto reforzado ordinario y los presforzados totalmente, ya que en base a experimentos se ha observado que en el inicio de la falla el comportamiento de estos tres tipos de elementos tiene mucha semejanza.

Además se ha observado que este criterio arroja resultados bastante aceptables en comparación con los obtenidos en las pruebas llevadas a cabo.

Las hipótesis simplificadoras para la determinación de la resistencia de los elementos parcialmente presforzados son las siguientes:

- Las secciones planas antes de la deformación permanecen planas después de ella.
- Existe adherencia perfecta entre el acero y el concreto que lo rodea.
- El concreto no resiste esfuerzos de tensión.
- Se conoce el diagrama de esfuerzo.- Deformación del concreto.
- La deformación unitaria máxima del concreto a compresión debida a flexión es $\epsilon_c = 0.003$.
- Se conoce el diagrama esfuerzo.- Deformación del acero de presfuerzo.

Considerando el diagrama simplificado del concreto a compresión, el momento resistente de una sección simple se obtiene de la siguiente manera.

Para secciones rectangulares:

$T_{sp} = A_{sp} f_{sp}$; Fuerza de tensión en el acero de presfuerzo.

$T_s = A_s f_y$; Fuerza de tensión en el acero de refuerzo ordinario.

A_{sp} y A_s ; Son el área de acero presforzado y de refuerzo no presforzado respectivamente.

a ; Profundidad del bloque de esfuerzos.

f_{sp} ; Es el esfuerzo al que están trabajando los tendones de presfuerzo.

f_y ; Es el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo ordinario.

f''_c ; Es el esfuerzo de compresión en el concreto.

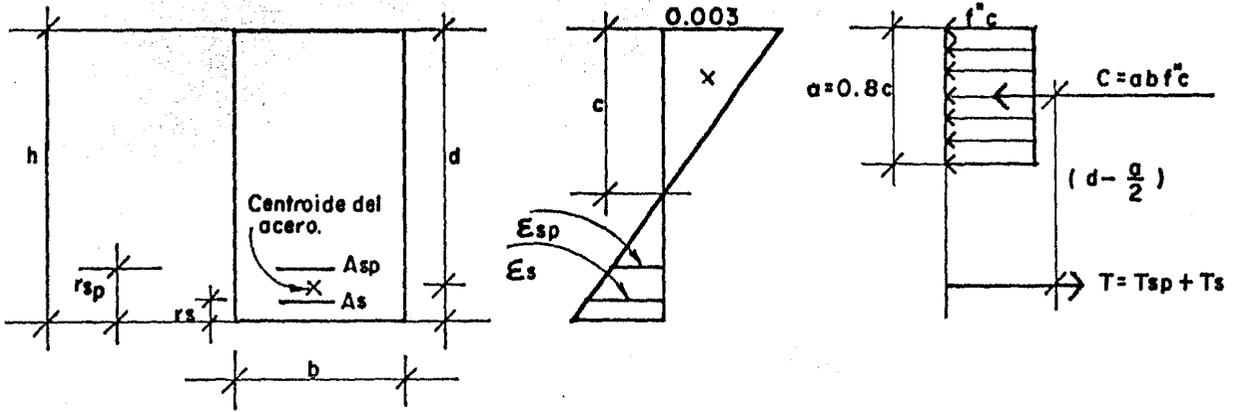


Figura. II. 2 Secciones que trabajan como rectangulare

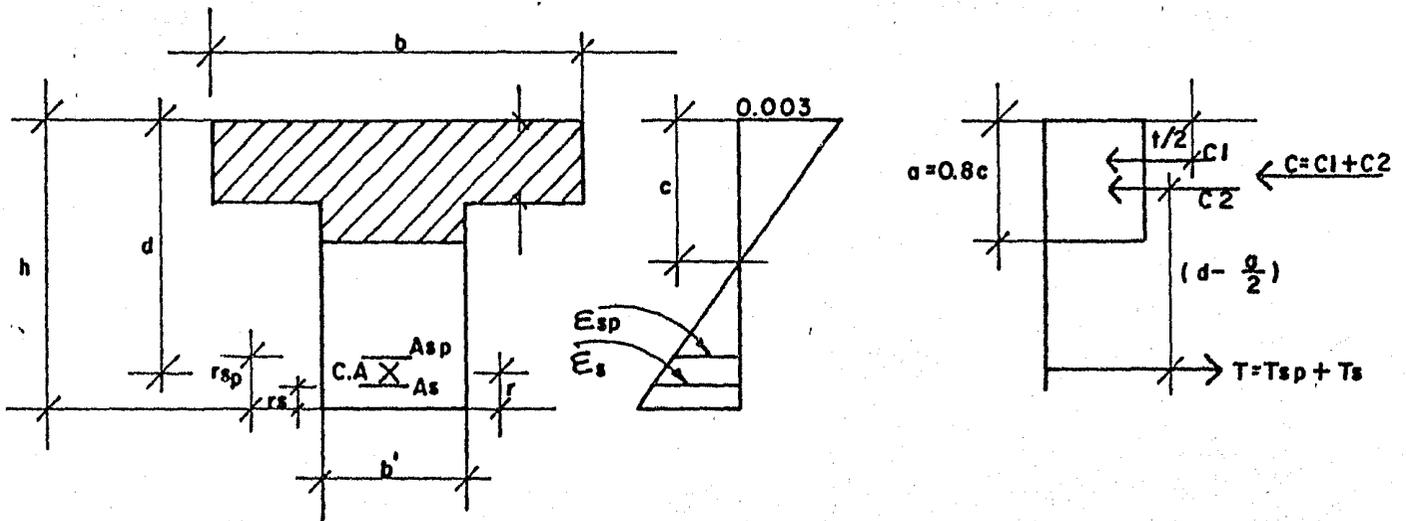


Figura. II. 3 Secciones que trabajan como T

Del equilibrio de fuerzas internas.

$$C = T$$

$$abf''_c = A_{sp} f_{sp} + A_s f_y$$

$$\text{por lo tanto } a = \frac{A_{sp} f_{sp} + A_s f_y}{bf''_c}$$

Para determinar el valor de f_{sp} se aplica el método aproximado del ACI, el cual es válido siempre que el presfuerzo efectivo en el acero f_{pe} sea mayor del cincuenta por ciento del esfuerzo resistente último, en cuyo caso para tendones adheridos es:

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - 0.5 P_p \frac{f_{pu}}{f_c} \right)$$

donde $P_p = \frac{A_{sp}}{bd}$; porcentaje de acero de presfuerzo

b ; ancho efectivo del patín en compresión

d ; peralte efectivo de la sección

$$d = h - r$$

En el caso de secciones "I", "T" y "L" que trabajen como rectangulares se tomará, para estos cálculos, el ancho del patín en compresión " b ".

Conforme al reglamento del Distrito Federal el valor de f''_c se define de la siguiente manera:

- Se calcula $f^* = 0.8 f'_c$
- Si $f^*_c \leq 250 \text{ kg/cm}^2$ se calcula $f''_c = 0.85 f^*_c$
- Y si $f^*_c > 250 \text{ kg/cm}^2$ se calcula $f''_c = (1.05 - f^*_c/1250) f^*_c$

Una vez determinado el valor de la fuerza de tensión en ambos tipos de acero, se procederá a tomar momentos con respecto a la fuerza de comprensión y el momento así obtenido se multiplicará por el factor de reducción correspondiente a la flexión (F.R = 0.9), con lo que quedará definido el momento resistente de diseño como sigue:

$$M_{UR} = F.R. \left(T \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

Ahora bien, para secciones que trabajan como "T" o sea, en las que además de estar comprimido el patín se tiene parte del alma debajo de el, también comprimida, se obtienen las fórmulas de la siguiente manera.

$$C_1 = (b - b') t f''_c$$

$$C_2 = a b' f''_c$$

$$T_{sp} = A_{sp} f_{sp}$$

$$T_s = A_s f_y$$

del equilibrio de fuerzas Internas

$$T = C$$

$$A_{sp} f_{sp} + A_s f_y = (b - b') t f''_c + a b' f''_c$$

$$a = \frac{A_{sp} f_{sp} + A_s f_y - (b - b') t f''_c}{b' f''_c}$$

En este caso el momento resistente queda definido al tomar momentos con respecto a la fuerza de tensión, el cual se afecta por el factor de reducción (F.R. = 0.9).

$$M_{UR} = F.R. \left(C_1 \left(d - \frac{t}{2} \right) + C_2 \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

En cuanto al valor del recubrimiento "r" se calcula, en ambos casos, tomando momentos de las fuerzas de tensión con respecto a la fibra extrema en tensión, con lo cual se obtiene:

$$r = \frac{T_{sp} r_{sp} - T_s r_s}{T_{sp} - T_s}$$

Las fórmulas de momento resistente anteriores son válidas para las secciones simples sometidas a momentos positivos, sin embargo: para las secciones compuestas que se encuentran sometidas a momento positivo se hacen consideraciones semejantes, pero tomando en cuenta que las secciones que la integran pueden ser de concretos de diferentes resistencias.

En las secciones compuestas sometidas a momentos negativos la resistencia en compresión del concreto se ve reducida a causa de la fuerza de presfuerzo y la tensión es resistida por acero de refuerzo ordinario colocada en la parte superior de la sección compuesta. Adicionalmente, en el caso de que se diseñen vigas continuas a base de vigas simplemente apoyadas, se rá necesario diseñar por resistencia la unión entre dichas vigas, suministrando acero en la zona de tensión para asegurar la continuidad de la sección.

Para revisar que la sección tenga una falla potencial de tipo dúctil, puede procederse de la siguiente manera:

- En el inicio de la falla, la superposición de las deformaciones unitarias debidas a la fuerza de presfuerzo inicial ϵ_i y la ocasionada por la flexión ϵ_{sp} debe ser tal que su valor sea cuando menos igual a la deformación unitaria correspondiente a la fluencia del acero de presfuerzo.

$$\epsilon_i - \epsilon_{sp} = \frac{F_o}{E_s} - 0.003 \frac{(h - r_{sp} - c)}{c} \geq \epsilon_{py} = 0.01$$

Y además, la deformación unitaria por flexión ϵ_s debe ser mayor o igual a la deformación correspondiente a la fluencia del acero de refuerzo ordinario ϵ_y .

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{(h - r_s - c)}{c} \geq \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Por otra parte, debe de asegurarse que el elemento no falle prematuramente después de presentarse el agrietamiento, para lo cual, debe de proveerse una resistencia a la flexión por lo menos un veinte por ciento mayor al momento de agrietamiento de la sección, siendo este último evaluado para las secciones simples con la siguiente expresión:

$$M_{ag} = (2\sqrt{f'_c} - \frac{P}{A} + \frac{P_e y_i}{A}) \frac{I}{y_i}$$

Donde; $2\sqrt{f'_c}$; corresponde al valor del módulo de ruptura según el reglamento del Distrito Federal (Kg/cm²)

P ; es la fuerza de presfuerzo efectiva después de todas las pérdidas de presfuerzo (Kg).

A, I y e ; son el área, el momento de inercia y la excentricidad de la sección simple, respectivamente (cm², cm⁴ y cm).

Y_i ; es la distancia de la fibra extrema en tensión a partir del centroide de la sección simple (cm).

Los miembros parcialmente presforzados, además de tener una seguridad adecuada en contra de la falla por flexión, deben de tener una resistencia ante las fallas prematuras de otro tipo, entre las cuales se encuentran las fallas por cortante (Tensión diagonal), las cuales son más peligrosas que la falla por flexión, ya que estas fallas ocurren de manera súbita y sin previo aviso.

CORTANTE

Para evitar que la falla de las vigas parcialmente reforzadas sea súbita y sin previo aviso, el refuerzo transversal para resistir el cortante se coloca de tal manera que la falla sea por flexión, ya que esta puede predecirse con mayor precisión que la de cortante y además porque viene precedida por el agrietamiento y las grandes deflexiones.

El reglamento del Distrito Federal propone que la revisión por cortante de las vigas de concreto presforzado cuya fuerza de presfuerzo sea como mínimo igual al cuarenta por ciento de la resistencia a tensión de todo el acero de refuerzo en tensión (presforzado y no presforzado), se realice en base a las fórmulas especificadas para las secciones presforzadas; en otro caso se revisará según lo especificado para secciones de concreto reforzado ordinario.

Las fórmulas aplicables para la revisión del cortante en vigas presforzadas son las siguientes:

- Para vigas de sección rectangular la resistencia del concreto al cortante es:

$$V_c = F.R. \left[b d \left(0.15 \sqrt{f^*c} + 50 \frac{V_a d_t}{M_a} \right) \right]$$

Donde F.R. = 0.8; Factor de reducción para cortante.

b ; Ancho de la sección

d ; Peralte efectivo.- se mide a partir de la fibra extrema en compresión hasta el centroide del acero en tensión

$$f^*c = 0.8 f'c$$

V_a; Fuerza cortante actuante en la sección considerada.

dt ; Peralte definido desde la fibra extrema en compresión al centroide del acero de presfuerzo total.

Para secciones "L" "I" o "T", siempre y cuando todo el patín este trabajando en compresión, la resistencia del concreto al cortante se obtiene con la fórmula anterior pero tomando el ancho del alma en lugar de b , pudiéndose adicionar al producto $b'd$ el valor t^2 para secciones T ó I, y $\frac{t^2}{2}$ para las "L".

Los valores de resistencia a cortante tienen como límite superior e inferior los siguientes:

$$V_c \leq 1.3 F.R. b d \sqrt{f^*c}$$

$$V_c \geq 0.5 F.R. b d \sqrt{f^*c}$$

Para las secciones rectangulares:

Si $h > 1.0$ m; se toma $0.8 V_c$

Si $\frac{h}{b} > 6$; se toma $0.8 V_c$

Y si se tiene que $h > 1.0$ m y $\frac{h}{b} > 6$; se toma $0.6V_c$

Para las secciones "T" "I" o "L" se considera en lugar de b el ancho del alma b' .

Sin embargo, en ningún caso se permitirá que el cortante actuante afectado por el factor de carga sea mayor que $2.5 F.R. b d \sqrt{f^*c}$, en caso de que se exceda este valor, deberá aumentarse el peralte de la sección.

La resistencia total a cortante estará dada por la contribución del concreto más la contribución del refuerzo transversal (estribos verticales), esta última está dada por:

$$V' = \frac{F.R. A_v F_y d}{s}$$

Donde:

A_v = Area de los estribos, depende del número de ramas que integran los estribos.

s = Separación entre estribos.

f_y = Esfuerzo de fluencia de los estribos ($f_y \leq 4200$)

d = Peralte efectivo.

Cuando la resistencia del concreto V_c es menor que la requerida $V_{ua} = F.C V_a$ será necesario colocar estribos con un espaciamiento tal que se obtenga una resistencia adecuada, este espaciamiento será el siguiente:

$$S = \frac{F.R. A_v f_y d}{V_{ua} - V_c} \quad \dots (I)$$

Cuando $V_{ua} \leq V_c$ se requiere estribos solo por especificación de la siguiente manera:

Se toma el menor valor de II y III o IV'

$$S = \frac{F.R. A_v f_y}{3.5 b} \quad \dots (II)$$

$$\text{SI } V_{ua} \leq 1.5 F.R. b d \sqrt{f^*c} \quad \dots (III)$$

$$S \leq 0.5 d$$

$$\text{SI } V_{ua} > 1.5 F.R. b d \sqrt{f^*c} \quad \dots (IV)$$

$$S \leq 0.25 d$$

En el caso de que $V_{ua} > V_c$ se tomará el menor valor de I, II, III y IV.

Quando se tienen tendones no rectos, el cortante que induce la fuerza de presfuerzo actua en contraposición del ocasionado por las fuerzas actuantes; pero se puede despreciar su efecto, con lo cual se obtienen resultados conservadores de la resistencia a cortante total.

CAPITULO III ASPECTOS ECONOMICOS

El hecho de que las secciones sometidas a presfuerzo total en el instante de la transferencia de la fuerza de presfuerzo se ven sujetas a esfuerzos más altos en comparación con los que se tendrían con el presfuerzo parcial, involucra ya sea el incremento de la sección para una misma calidad de concreto o una mejor calidad de concreto si se considera la misma sección, en ambos casos se vería afectada la economía de la obra, la cual además se ve afectada por aspectos tales como la mayor capacidad que se requiere para los gatos de tensado y la mayor densidad de acero de refuerzo en la zona de anclaje de los tendones.

La comparación económica entre la estructura a base de elementos parcialmente presforzados y las de concreto reforzado común es recomendable que se realice en importes totales, incluyendo la cimentación y tomando en cuenta el tiempo de ejecución de la obra, esto último para tomar en cuenta que los elementos parcialmente presforzados son más esbeltos y que la inversión total en el caso de las estructuras a base de estos elementos generalmente son menos afectadas por los intereses de capital dado que la mayoría de los elementos son prefabricados (pretensados) y la obra se lleva a cabo en menos tiempo.

Además, como elementos prefabricados su fabricación puede ser más mecanizada y se reduciría el empleo de obra falsa, aunque, se tendrían costos adicionales de transporte y montaje; por otra parte serían más complejos el diseño estructural y la planeación, lo que haría necesario una mayor supervisión en la obra.

CAPITULO IV CONCLUSIONES

Uno de los problemas que se presentan al diseñar elementos parcialmente presforzados, es la determinación del grado de presfuerzo óptimo, sin embargo, si se define el grado de presfuerzo, k , como la relación que existe entre el momento de descompresión, M_d , y el momento flexionante ocasionado por la carga máxima en condiciones de servicio, M_a , se tendría que $K = M_d/M_a$, de donde, para los elementos no presforzados el grado de presfuerzo sería igual a cero, $K = 0$, mientras que para los elementos totalmente presforzados sería igual a la unidad, $K = 1$; de esta manera es posible elegir un grado de presfuerzo entre 0 y 1, lo cual se haría en base a la experiencia.

En algunos reglamentos se especifica que para cargas permanentes, las secciones de los elementos deben estar sometidos a compresión, lo cual implica que el momento de descompresión sea por lo menos igual al momento producido por las cargas permanentes, sin embargo, para las estructuras en las que las cargas permanentes son casi la totalidad de las cargas, podría ser posible permitir un grado de presfuerzo menor al definido por la relación de momentos ocasionados por las cargas permanentes y por las cargas totales ($K = M_{\text{cargas permanentes}}/M_{\text{cargas totales}}$).

El método de diseño para elementos parcialmente presforzados puede tomarse de tal manera que se cumplan las condiciones de estados límites de colapso y de servicio. Esto implica que la estructura deberá tener una seguridad adecuada contra la falla y además que deberá proporcionarse un arreglo del acero de refuerzo no presforzado.

Un método de diseño propuesto para los elementos parcialmente presforzados es el siguiente:

a) Elección del grado de presfuerzos; con este se puede calcular el valor del momento de descompresión

$$M_d = K M_a.$$

b) Calcular la fuerza de presfuerzo necesaria para obtener el momento de descompresión bajo el nivel de carga considerado; para ello se procede de manera semejante que para los elementos de concreto totalmente presforzados; en ese paso se determina el área de acero de presfuerzo.

c) Obtener el área de refuerzo no presforzado de tal manera que el momento resistente de diseño cumpla con los requisitos de resistencia.

d) Proporcionar un arreglo adecuado del acero de refuerzo no presforzado de tal manera que se cumplan los requisitos correspondientes a los estados límites de servicio. Esto se puede realizar en base al criterio del ACI, el cual permite que se presenten esfuerzos de tensión mayores al módulo de ruptura del concreto, siempre y cuando se proporcione acero de refuerzo ordinario (en la zona de tensión) que resista la totalidad de la fuerza de tensión resultante del bloque de esfuerzo tensionante y tomando en cuenta que este acero es más efectivo para restringir el agrietamiento mientras más cerca se coloque de la fibra extrema.

Bibliografía

-- Symposia on Partial Prestressing and Practical Construction in Prestressed and Reinforced Concrete

FIP - Federación Internacional del Presfuerzo
Bucarest-1980

-- Diseño de Estructuras de Concreto Presforzado

Arthur H. Nilson

Junio - 1982

-- Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto

Normas Técnicas Complementarias del Reglamento
de Construcción

Publicación del Instituto de Ingeniería

Julio - 1977