

90
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA.

REVISION DE DEFLEXIONES DE
ELEMENTOS PRESFORZADOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

MIGUEL ANGEL MAGAÑA MOHENO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

INDICE.

REVISION DE DEFLEXIONES DE ELEMENTOS PRESFORZADOS.	PAGINA
CAPITULO I.	
INTRODUCCION.	1
CAPITULO II.	
EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES ACTUANTES.	
II.1 GENERALIDADES.	5
II.2 METODO DEL P.C.I.	6
II.2.1 BASE DEL METODO.	6
II.2.2 DEDUCCIONES DEL FACTOR DE LARGO PLASO " λ ".	
II.2.3 EJEMPLO DEL CALCULO DE LA DEFLEXION DIFERIDA EN UNA VIGA PRESFORZADA.	10
CAPITULO III.	
DEFLEXIONES PERMISIBLES.	
III.1 GENERALIDADES.	18
III.2 DEFLEXIONES PERMISIBLES DE ACUERDO AL R.C.D.F.-87.	19
III.3 CONTROL DE DEFLEXIONES.	24
III.4 EJEMPLO DEL CALCULO DE LA DEFLEXION DE UNA VIGA PRESFORZADA. UTILIZANDO LAS N.T.C.DEL R.C.D.F.-87	27
CAPITULO IV.	
CONCLUSIONES.	32

APENDICE A.	PAGINA
METODO DE EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES DE LARGO PLAZO EN ELEMENTOS PRESFORZADOS, BASADOS EN LA ECUACION DEL ACI.	36
APENDICE B.	
DEFLEXIONES EN VIGAS PRESFORZADAS DE SECCION COMPUESTA.	44
APENDICE C.	
CONTRAFLECHA DEBIDA AL PRESFUERZO Y DEFLEXION DEBIDA A LA CARGA.	47
APENDICE D.	
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO UTILIZANDO EL METODO DE PRESFUERZO.	48
REFERENCIA.	66

REVISION DE DEFLEXIONES DE ELEMENTOS PRESFORZADOS

CAPITULO I .

INTRODUCCION.

Las deflexiones son una parte importante de los estados límite de servicio que deben de cumplir cualquier estructura debido a esto, se exige su evaluación en condiciones de servicio, para garantizar el buen comportamiento de los distintos elementos que la forman.

Los adelantos recientes en los métodos de análisis y diseño y en el desarrollo de aceros y concretos de alta resistencia, permiten obtener elementos estructurales esbeltos y estructuras flexibles, en las cuales son significativas las deflexiones. También son importantes para la estimación de las rigideces de elementos estructurales.

El cálculo de las deflexiones de elementos de estructuras reales, es mas complicado que el calculo de las deflexiones de vigas ensayadas en el laboratorio. Los siguientes son algunos de los factores mas importantes que complican esta evaluación: El comportamiento del concreto esta en funcion del tiempo y, por consiguiente, en cualquier enfoque riguroso debe tenerse en cuenta la historia de carga del elemento investigado. En la practica, esto no es posible, ya que las condiciones de carga son muy variables, tanto en la magnitud, como en el tiempo de aplicacion.

También son difíciles de predecir las variaciones de humedad y temperatura, con el tiempo. las cuales, tienen influencia sobre las deflexiones a largo plazo.

Las deflexiones excesivas de un elemento, pueden producir daños en los otros elementos estructurales o, mas frecuentemente, en elementos no estructurales, como son muros divisorios; o acarrear problemas, como es el caso de la acumulación de agua en azoteas.

La respuesta humana ante las deflexiones de los elementos estructurales o no, suele ser significativa, ya que las deflexiones excesivas no son toleradas por los usuarios del inmueble, ya que producen una sensación de inseguridad.

Otra razón, por la cual se deben cumplir los límites permisibles de las deflexiones, es el aspecto estético de las estructuras.

Esta tesis es una recopilación de información, basicamente de autores extranjeros, sobre el cálculo de las deflexiones en elementos pretensados y presenta algunos métodos prácticos de evaluación.

Los métodos aquí propuestos, son validos para vigas totalmente presforzadas que trabajan con sección simple.

Uno de los objetivos de la presente tesis, es la de ser el capítulo doce, de los catorce capitulos, que integran los apuntes para la asignatura Presfuerzo y Prefabricación, que se imparte en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es de esta manera que este trabajo da al alumno, que curse la

materia un aspecto teórico de las deflexiones en los elementos de concreto presforzado.

La presente tesis está integrada por cuatro capítulos:

El capítulo número uno, "Introducción", nos da un panorama general de las deflexiones, definiendo lo importante que son para el diseño. Explica brevemente el comportamiento físico en las estructuras. Asimismo, hace una presentación de la presente tesis.

El capítulo número dos "Evaluación de las deflexiones actuantes", describe y ejemplifica, el método del PCI (Prestressed Concrete Institute), para la evaluación de las deflexiones.

El capítulo número tres "Deflexiones Permisibles", trata de explicar la importancia del nuevo Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus normas técnicas complementarias, dando un ejemplo de este nuevo reglamento.

En el capítulo número cuatro "Conclusiones", se hace una comparación de los métodos existentes, con las fórmulas de evaluación del Reglamento de Construcción del Distrito Federal 1987.

Como complemento a este trabajo se anexan cuatro apéndices, el apéndice A, es el método de evaluación de las "Deflexiones a largo plazo basado en la ecuación del ACI", el apéndice B es el cálculo de las "Deflexiones en vigas presforzadas de sección compuesta", el apéndice C son los diagramas y fórmulas más utilizadas para el cálculo de "Contraflechas debidas al presfuerzo" y "Deflexiones

debidas a la carga". por ultimo el apendice D ilustra el "Procedimiento Constructivo utilizando el Metodo de Presfuerzo".

CAPITULO II

EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES ACTUANTES.

II.1 GENERALIDADES.

La deflexion diferida o dependiente del tiempo, es la parte de la deflexion total debida al flujo plastico, contraccion del concreto y a la relajacion del acero de presfuerzo.

Con el tiempo la carga permanente, origina incrementos en la deflexion debidas principalmente a la presencia de los factores mencionados.

El efecto del flujo plastico del concreto es doble, en principio produce una pérdida de presfuerzo, la cual tiende a reducir la contraflecha. Las deformaciones por flujo plástico, por lo general, aumentan las curvaturas negativas y en consecuencia aumenta la contraflecha.

Por lo general, el segundo efecto es el que predomina y la contraflecha aumenta a pesar de la reduccion de la fuerza de presfuerzo.

La contraccion del concreto y la relajacion del acero de presfuerzo producen una pérdida de presfuerzo que contribuye a la deflexion del elemento estructural.

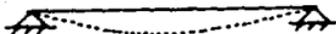
La presencia de estos factores complican la evaluación de las deflexiones de los elementos presforzados, y mas aún si existe agrietamiento en el elemento.

A continuación se presenta el método del PCI. (Prestressed Concrete Institute), usado para la evaluación de las deflexiones: el cual es un método práctico, para la determinación de este estado límite.

II. 2 METODO DEL PCI (Prestressed Concrete Institute)

II.2.1 BASE DEL METODO.

La evaluación de las deflexiones diferidas en elementos presforzados se complica, debida a la presencia de los factores de largo plazo ya mencionados. Las deflexiones o contraflechas no solo son importantes en las etapas inicial y final del elemento, sino que también durante el montaje de la pieza, el cual ocurre en diferentes etapas de la vida útil del elemento, según cada proyecto en particular.



Ha sido costumbre en el diseño de elementos de concreto reforzado o presforzado, calcular la deflexión diferida, multiplicando la

deflexión o contraflecha inicial, por un factor, generalmente basado en la experiencia del diseñador.

La deflexión total puede ser dividida en una deflexión elástica instantánea y en otra deflexión adicional de largo plazo o diferida.

$$\Delta_T = \Delta_i + \Delta_{ad} \quad (2.1)$$

donde:

Δ_T = deflexión total

Δ_i = deflexión elástica instantánea

Δ_{ad} = deflexión diferida

y además

$$\Delta_T = \Delta_i + \lambda \Delta_i \quad (2.2)$$

$$\Delta_T = \Delta_i (1 + \lambda) \quad (2.3)$$

donde:

λ = factor que toma en cuenta los efectos de largo plazo.

Este método está basado en la ecuación del reglamento ACI 318 - 77 para calcular la deflexión diferida en elementos de concreto

reforzado, pero fue adaptada a las características de los elementos presforzados por Leslie D. Martin, quien hizo algunas suposiciones para hacerla valida a estos elementos. La fórmula que proporciona el ACI es :

$$\lambda = \left(2 - 1.2 \frac{A's}{A_s} \right) \geq 0.6 \quad (2.4)$$

donde:

A's = área de acero de refuerzo en compresión.

A s = área de acero de refuerzo en tensión.

En el apéndice A se muestra el desarrollo que hizo Leslie D. Martin, para encontrar distintos valores de λ .

En la tabla 2.1 se proporcionan los factores sugeridos $1 + \lambda$ por el PCI que pueden ser usados como una buena aproximación para el calculo de las deflexiones a largo plazo para elementos presforzados típicos. Estos factores son los encontrados por Martin.

Shaikh y Branson sugieren que los efectos de largo plazo se pueden reducir por un factor aplicado al factor λ :

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{As}{Asp}} \quad (2.5)$$

donde:

As = área de acero de reuerzo al nivel del acero de presfuerzo.
Asp = area de acero de presfuerzo.

donde: A_s = área de acero de refuerzo al nivel del acero de presfuerzo.

A_{sp} = área de acero de presfuerzo, y el nuevo factor $(1 + \lambda)$ será: $C = 1 + \alpha (C_1 - 1)$, C_1 se obtiene de la tabla 2.1

EN EL FORMATO	FACTOR $C_1 = (1 + \lambda)$	
	SECCION SIMPLE	SECCION COMPUESTA
(1) Deflexión aplicable a la deflexión elástica debida al peso propio del elemento en la transferencia del presfuerzo.	1.85	1.85
(2) Contraflecha aplicable a la contraflecha elástica debida al presfuerzo en la transferencia del presfuerzo.	1.80	1.80
AL FINAL		
(3) Deflexión aplicable a la deflexión elástica debido al peso propio del elemento en la transferencia del presfuerzo.	2.70	2.40
(4) Contraflecha aplicable a la contraflecha elástica debida al presfuerzo en la transferencia del presfuerzo.	2.45	2.20
(5) Deflexión aplicable a la deflexión elástica únicamente por la sobrecarga muerta.	3.00	3.00
(6) Deflexión aplicable a la deflexión elástica causada por la losa de la sección compuesta.	----	2.30

Tabla 2.1 Factores sugeridos para el cálculo deflexiones permisibles.

11.2.2 DEDUCCIONES DEL FACTOR DE LARGO PLAZO " λ "

Se dijo que se acostumbra calcular la deflexión de largo plazo o diferida, multiplicando la deflexión instantánea por un factor apropiado.

La razón básica de esta proposición, proviene del análisis del efecto del flujo plástico del concreto en la respuesta esfuerzo - deformación como se aprecia en la figura 2.1

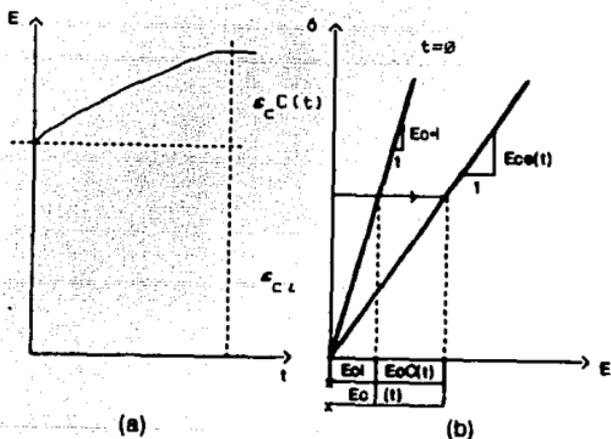


FIGURA 2.1 Relaciones entre:
(a) Variación de la deformación por flujo plástico y,
(b) Módulo de elasticidad equivalente.

Suponiendo un esfuerzo constante, la deformación por flujo plástico se puede obtener multiplicando a la deformación instantánea, ϵ_{ci} , por un factor de flujo plástico, $C_c(t)$, así:

$$\epsilon_c(t) = [\epsilon_{ci}] [C_c(t)] \quad (2.6)$$

En el diagrama de esfuerzo - deformación, del concreto en su rango elástico, se puede observar la deformación elástica instantánea y la deformación por flujo plástico.

El cociente σ / ϵ_{ci} , es igual al módulo elástico inicial, con el tiempo dicho cociente, disminuye por la deformación del flujo plástico.

Este efecto puede simularse usando un módulo equivalente que se obtiene de la siguiente manera:

$$E_{ce}(t) = \frac{\sigma}{\epsilon_c(t)} = \frac{\sigma}{\epsilon_{ci} + \epsilon_c(t)} = \frac{\sigma}{\epsilon_{ci} + \epsilon_{ci} C_c(t)}$$

$$E_{ce}(t) = \frac{\sigma}{\epsilon_{ci} + (1 + C_c(t))} = \frac{E_{ci}}{1 + C_c(t)} \quad (2.7)$$

$$\Delta = \frac{K}{E} \quad (2.8)$$

Cualquier fórmula de deflexión es inversa del módulo de elasticidad y en general:

Aplicado a la deflexión inicial:

$$\Delta_i = \frac{K}{E_{ci}} \quad (2.9)$$

Si la carga es permanente en un tiempo "t" :

$$\Delta(t) = \frac{K}{E_{ce}(t)} \quad (2.10)$$

Sustituyendo "k" de la ecuación (2.9) y $E_{ce}(t)$ de la (2.7), se obtiene:

$$\Delta(t) = \frac{\Delta_i E_{ci}}{\frac{E_{ci}}{1 + C_c(t)}} \quad (2.11)$$

$$\Delta(t) = \Delta_i (1 + C_c(t)) \quad (2.11)$$

$$\Delta(t) = \Delta_i + \Delta_i C_c(t) \quad (2.12)$$

Al final de la vida del elemento se tiene:

$$\Delta v = \Delta t + Cc v \Delta t$$

$$\Delta v = \Delta t (1 + Cc v)$$

$$\Delta v = \Delta t + \Delta ad \tag{2.13}$$

En la cual

$$\Delta ad = Cc v \Delta t \tag{2.14}$$

En las expresiones anteriores :

Δv = deflexión última total para la carga permanente considerada.

Δad = deflexión adicional de largo plazo o diferida.

La ecuación (2.13) sugiere que la deflexión adicional de largo plazo o diferida, puede ser calculada multiplicando la deflexión instantánea por un factor.

De acuerdo con esta ecuación, el factor es igual al coeficiente último de flujo plástico; sin embargo, los otros factores ya mencionados deben considerarse.

II.2.3 EJEMPLO DEL CALCULO DE LA DEFLEXION DIFERIDA EN UNA VIGA PRESFORZADA.

Calcular las deflexiones diferida, e inmediata de la viga TT presforzada que trabaja simplemente apoyada con una longitud de 15 metros, al final de su vida útil.

La pieza es de concreto de peso normal con las siguientes características :

$$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$10 \text{ torones de } \phi = 2 \text{ "}$$

$$f'ci = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Con un } f_{sr} = 19,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 159,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Area por torón} = 1.03 \text{ cm}^2$$

$$E_{ci} = 142,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_0 = 13,700 \text{ kg}$$

$$E_{sp} = 1'900,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F = 10,960 \text{ kg}$$

- La sección con sus propiedades geométricas y las cargas de servicio que se muestran en la figura 2.2.
- Se supone 20% de pérdidas de presfuerzo totales.

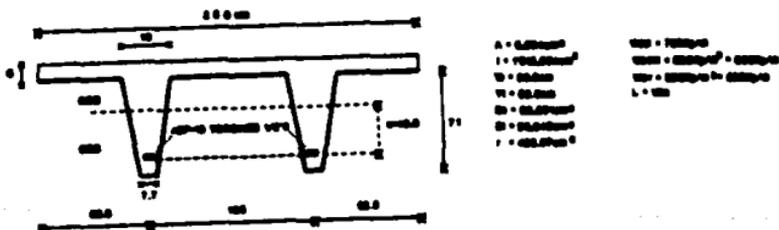


Fig. 2.2

SOLUCION :

- a) Contraflecha debida al presfuerzo.

Vamos a suponer que existe 5% de pérdidas de presfuerzo en la transferencia, entonces:

$$P_o = 0.95 (10 + 13,700) = 130,150 \text{ kg}$$

$$e_i = 40.6 \text{ cm}$$

$$E_c I = 142,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta_p = - \frac{P_o e_i l^2}{8 E_c I} = - \frac{130,150 (40.6) (1,500)^2}{8 (142,200) (1'316,664)} = - 7.9 \text{ cm}$$

- b) Deflexión por peso propio.

$$\Delta_{pp} = \frac{5 w_{pp} l^4}{384 E_c I} = \frac{5 (7.28) (1,500)^4}{384 (142,200) (1'316,664)} = 2.6 \text{ cm}$$

- c) Deflexión Instantánea.

$$\Delta_i = \Delta_p + \Delta_{pp} = - 7.9 + 2.6 = - 5.3 \text{ cm}$$

- d) Deflexión instantánea por sobrecarga muerta.

$$\Delta_{scm} = \frac{5 w_{scm} l^4}{384 E_c I} = \frac{5 (8.0) (1,500)^4}{384 (159,000) (1'316,664)} = 2.5 \text{ cm}$$

e) Factores de largo plazo ($1 + \lambda$)

De la tabla 2.1 :

Por presfuerzo, ($1 + \lambda$) = 2.45

Por peso propio, ($1 + \lambda$) = 2.70

Por sobre carga muerta, ($1 + \lambda$) = 3.00

f) Deflexión diferida.

Por presfuerzo = $-7.9 (2.45 - 1) = - 11.4$ cm

Por peso propio = $2.6 (2.7 - 1) = 4.4$ cm

Por sobrecarga muerta = $2.5 (3.0) = 7.5$ cm

entonces:

$$\Delta_{ad} = - 11.4 + 4.4 + 7.5 = 0.5 \text{ cm}$$

- Notese que la deflexión diferida por presfuerzo y por peso propio solo se utiliza el factor " λ ", mientras que para la sobre carga se utiliza ($1 + \lambda$) por ser una carga nueva y se le considera adicional.

Graficamente se observa lo siguiente:

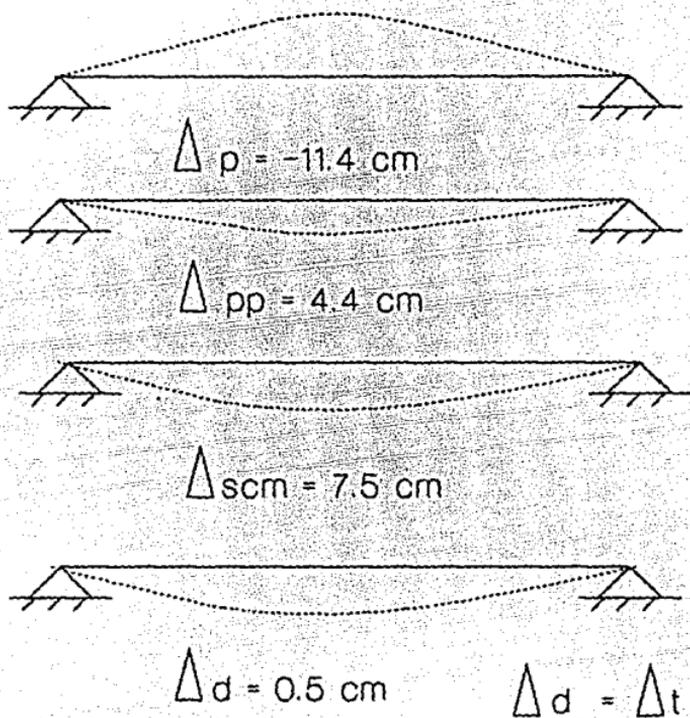


FIGURA 2.3

CAPITULO III.
DEFLEXIONES PERMISIBLES.

III.1 GENERALIDADES.

La Deflexión es el desplazamiento total de un punto de un elemento estructural, de su posición antes de la aplicación de la carga, a su posición después de que se carga el elemento.

Los elementos estructurales pueden diseñarse satisfactoriamente por resistencia, pero pueden con el tiempo desarrollar contraflechas o deflexiones y por lo tanto su comportamiento será riesgoso.

A continuación se presentan algunos ejemplos de la importancia que tiene el debido cálculo de las deflexiones:

- En los elementos totalmente presforzados que integran a los puentes en los cuales no deben o existen pequeñas tensiones, frecuentemente se desarrollan grandes contraflechas que provocan un perfil desigual del camino afectando seriamente las condiciones de circulación.
- Deflexiones excesivas en elementos de edificios, pueden ocasionar serios daños a los muros divisorios, marcos de las ventanas y a otros elementos no estructurales conectados a estos .

De lo anterior se deduce que las deflexiones deben de limitarse para su buen comportamiento.

II.2 DEFLEXIONES PERMISIBLES DE ACUERDO AL RCDF-87.

En el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal en su ARTICULO 184.- se lee lo siguiente:

Se considerara como estado limite de servicio la ocurrencia de deformaciones, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la construccion pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas.

En las construcciones comunes, la revisión de los estados limite de deformaciones se considerará cumplida si se comprueba que no exceden los valores siguientes:

I.- Una flecha vertical, incluyendo los defectos a largo plazo, igual al claro entre 240, más 0.5 cm. Además, para miembros cuyas deformaciones afecten a elementos no estructurales, como muros de mampostería, que no sean capaces de soportar deformaciones apreciables; se considerará como estado limite una flecha, medida despés de la colocación de los elementos no estructurales, igual al claro entre 480, más 0.3 cm. Para elementos en voladizo, los límites anteriores se multiplicarán por dos, y:

II.-Una deflexión horizontal entre dos niveles sucesivos de la estructura, igual a la altura del entrepiso entre 500 para estructuras que tengan ligados elementos no estructurales que puedan dañarse con pequeñas deformaciones e igual a la altura de entrepiso entre 250 para otros casos; para diseño sísmico se observará lo dispuesto en los artículos 209 a 211 de este reglamento.

Las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en el capítulo de diseño y construcción de estructuras de concreto, sección 7. Concreto presforzado, subcapítulo 7.4.1 Elementos con presfuerzo total inciso c, dice:

c) Deflexiones.

Las deflexiones inmediatas en elementos totalmente presforzados se calcularán con los métodos usuales para determinar deflexiones elásticas; en los cálculos se puede usar el momento de inercia de la sección total cuando se encuentra agrietada.

Las deflexiones diferidas deben calcularse tomando en cuenta los efectos de contracción y flujo plástico del concreto, y de la relajación del acero.

El subcapítulo 7.4.22 Elementos con presfuerzo parcial del mismo título dice en el inciso c, lo siguiente:

c) Deflexiones.

Las deflexiones en elementos parcialmente presforzados deberán calcularse considerando todas las etapas de carga, y la condición de agrietamiento en cada etapa.

Para aclarar los dos incisos anteriores haremos referencia al subcapítulo 2.2.2 Deflexiones.

2.2.2. Deflexiones.

Las dimensiones de elementos de concreto reforzado deben ser tales que las deflexiones que puedan sufrir bajo condiciones de servicio o trabajo se mantengan dentro de los límites prescritos en el capítulo VI del reglamento.

Deflexiones en elementos no presforzados que trabajan en una dirección.

Deflexiones inmediatas. Las deflexiones que ocurran inmediatamente al aplicar la carga se calcularán con los métodos o fórmulas usuales para determinar deflexiones elásticas. A menos que

se utilice un análisis más racional o que se disponga de datos experimentales, las deflexiones de elementos de concreto de peso normal se calcularán con un módulo de elasticidad congruente con 1.4.1 d) :

1.4.1 d) Módulo de Elasticidad.

Para concretos clase 1, el módulo de elasticidad se supondrá igual a:

$$14,000 \sqrt{f'c} \text{ Kg/cm}^2$$

Y para concreto clase 2, se supondrá igual a:

$$8,000 \sqrt{f'c} \text{ Kg/cm}^2$$

Y con el momento de inercia de la sección transformada agrietada.

En claros continuos, el momento de inercia que se utilice será un valor promedio calculado en la forma siguiente:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + 2 I_3}{4}$$

Donde I_1 e I_2 son los momentos de inercia de las secciones extremas del claro I_3 el de la sección central. Si el claro solo es continuo en un extremo, el momento de inercia correspondiente al extremo discontinuo se supondrá igual a cero y en la expresión (2.36) el denominador será 3.

$$I = \frac{I_1 + I_2 + 2I_3}{3}$$

Deflexiones Diferidas. A no ser que se utilice un análisis más preciso, la deflexión adicional que ocurra a largo plazo en miembros de concreto normal clase 1, sujetos a flexión se obtendrá multiplicando la flecha inmediata, calculada de acuerdo con el párrafo anterior para la carga sostenida considerada, por el factor:

$$\frac{2}{1 + 58 p'} \quad (2.37)$$

Donde p' es la cuantía de acero a compresión (A'_s / bd).

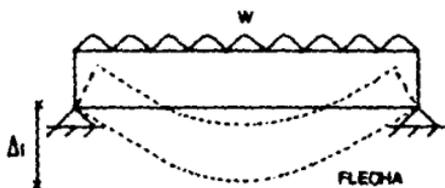
En elementos continuos se utilizará un promedio de p' calculado con el mismo criterio aplicado para determinar el momento de inercia.

Para elementos de concreto normal clase 2, el numerador de la expresión (2.37) será igual a 4.

La Deflexión Total será la suma de la Deflexión inmediata más la Deflexión Diferida.

III.3 CONTROL DE DEFLEXIONES.

La deflexión en elementos de concreto parcial y totalmente presforzada, puede ser controlada adecuadamente seleccionando la magnitud y trayectoria del presfuerzo. En nuestro medio dicha solución no es posible, pues por limitaciones técnicas se utilizarán únicamente tendones rectos.



Donde $\Delta l = \frac{5}{384} \frac{W L^4}{E I}$

Δl Deformación instantánea $\Delta l = \Delta d + \Delta i$

Δd Deformación diferida $\Delta l \leq \Delta$ permisible

Δi Deformación total Δ permisible (ACI-87)

FIG. 8.1 CONTROL DE DEFLEXIONES

A continuuacionse presenta la tabla 3.1 en donde el reglamento ACI proporciona espesores minimos para vigas y losas de concreto reforzado en función de la longitud del claro del elemento.

PERALTE MINIMO H				
MIEMBROS	Libremente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Miembros que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse por grandes deflexiones.				
losas macizas en una dirección	L 28	L 24	L 28	L 18
vigas o losas nervadas en una dirección	L 16	L 18.5	L 21	L 8

Tabla 3.1 Peraltes minimos de vigas y losas en una dirección, a menos que se calcule la deflexion

NOTA: Los valores dados en la tabla se deben usar directamente en miembros de concreto de peso normal y acero de refuerzo de grado 42. Para otras condiciones los valores deben de modificarse como sigue:

a) Para concreto ligero de peso unitario dentro del rango de 1,400 a 1,900 Kg/m³, los valores de la tabla deben multiplicarse por (1.65-0.0003 wc), pero no menos de 1.09, donde wc es el peso unitario en Kg/m³.

b) Para otros valores de fy distintos de 4,200 Kg/cm², los valores de esta tabla deberán multiplicarse por 0.4 + (fy / 7,000), fy en Kg/cm².

A continuación se presentan las deflexiones máximas permisibles para vigas de concreto reforzado y presforzado, según las deflexiones límite que señala el Reglamento ACI.

Tipo del miembro	Deflexión a considerar	Límite de la deflexión
Azoteas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por grandes deflexiones.	Deflexión inmediata debida a la carga viva.	$\frac{l}{180}$
Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por grandes deflexiones.	Deflexión inmediata debida a la carga viva.	$\frac{l}{360}$
Azoteas o entrepisos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales, susceptibles de sufrir daños por grandes deflexiones.	La porción de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales, la suma de la deflexión a largo plazo debido a todas las cargas sostenidas y la deflexión instantánea debida a cualquier carga viva adicional.	$\frac{l}{480}$
Azoteas o entrepisos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales, no susceptibles de sufrir daños por grandes deflexiones.	La deflexión instantánea debida a cualquier carga viva adicional.	$\frac{l}{240}$

Tabla 3.2 Deflexiones máximas permisibles calculadas según el Reglamento ACI.

III.4. EJEMPLO DEL CALCULO DE LA DEFLEXION EN UNA VIGA PREFORZADA UTILIZANDO LAS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL.

Calcular las deflexiones diferida, e inmediata de la viga TT preforzada que trabaja simplemente apoyada con una longitud de 15 metros, al final de su vida util.

La pieza es de concreto de peso normal con las siguientes características :

$$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$10 \text{ torones de } \emptyset = 1 \text{ "}$$

$$f'cs = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Con un } f_{sr} = 19,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F = 10,960 \text{ kg}$$

$$\text{Area por toron} = 1.03 \text{ cm}^2$$

$$F_0 = 13,700 \text{ kg}$$

- Se supone 20% de pérdidas de presfuerzo totales.
- La sección con sus propiedades geométricas y las cargas de servicio que se muestran en la figura siguiente.

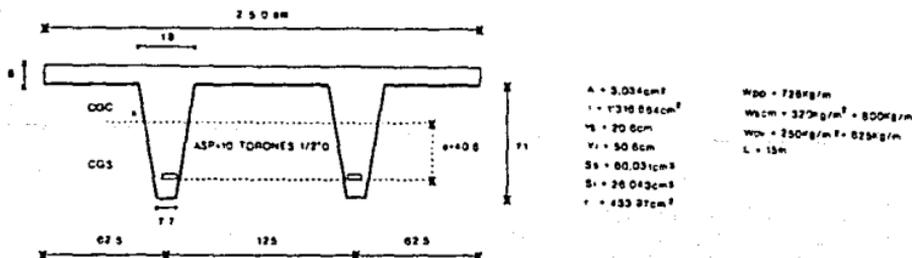


Fig. 3.2

SOLUCION :

La deflexión que ocurra inmediatamente al aplicar la carga , la calcularemos con el método para la determinar la deflexión elástica, por lo tanto se realizara el analisis de carga siguientes:

1) Analisis de cargas.

$$w = w_{pp} + w_{scm} + w_{cv}$$

$$w = 728 + 800 + 625$$

$$w = 2,153 \text{ kg/cm}$$

$$w = 2.15 \text{ t/m}$$

2) Cálculo de la Deflexión debido a la carga.

Para este cálculo será necesario el conocer el Modulo de Elasticidad y su respectivo Momento de Inercia.

Por tratarse de un concreto clase 1, el módulo de elasticidad se supondra igual a:

$$E_c = 14,000 \sqrt{f'c} = 14,000 \sqrt{350} = 261,916$$

$$E_c = 261,916 \text{ kg/cm}^2$$

Por ser un claro continuo, el momento de inercia que se utilice será un valor promedio calculado en la forma siguiente:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + 2 I_3}{4}$$

Donde; I1 e I2 son los momentos de inercia en el centro del claro.

Donde; I3 Es el momento de inercia en el centro del claro.

Por ser una sección con las mismas características geométricas en toda el claro, se tiene que I permanece constante.

$$I = \frac{(1'316,664) + (1'316,664) + 2 (1'316,664)}{4} = 1'316,664$$

Como se supone un 5% de pérdida de presfuerzo en la transferencia, entonces:

$$P = 0.95 (10 \text{ toneladas}) (13,700)$$

$$P = 130,150 \text{ kg}$$

Contraflecha debida al presfuerzo:

$$\Delta_p = - \frac{P e l^2}{8 EI} = - \frac{(130,150) (40.6) (1,500)^2}{8 (261,916) (1'316,664)} = - 4.31 \text{ cm}$$

Deflexión debida a la carga:

$$\Delta_l = \frac{5 w l^4}{384 EI} = \frac{5 (2.15) (1,500)^4}{384 (261,916) (1'316,664)} = 0.41 \text{ cm}$$

$$\Delta L = 0.41 \text{ cm}$$

3) Cálculo de la Deflexión Diferida:

Para este cálculo será necesario el conocer p'

$$p' = \frac{A's}{b d} = \frac{(1.03) (10)}{(250) (71.0)} = 0.0006$$

$$d = \frac{2}{1 + 50 p'} = \frac{2}{1 + 50 (0.0006)} = 1.94 \text{ cm}$$

$A's$ = Área de acero de compresión.

b = Ancho de la cara de compresión.

d = Peralte efectivo de la sección.

Revisando la deflexión permisible de acuerdo al RCDF-87, art.184:

$$\Delta D = \frac{1}{240} + 0.5 = \frac{1500}{240} + 0.5 = 6.75 \text{ cm} > \Delta T \quad \text{se acepta.}$$

Por lo tanto la Deflexión Total será; la suma de la Deflexión inmediata más la Deflexión Diferida, más la Deflexión debida al Presfuerzo.

Graficamente se observa lo siguiente:

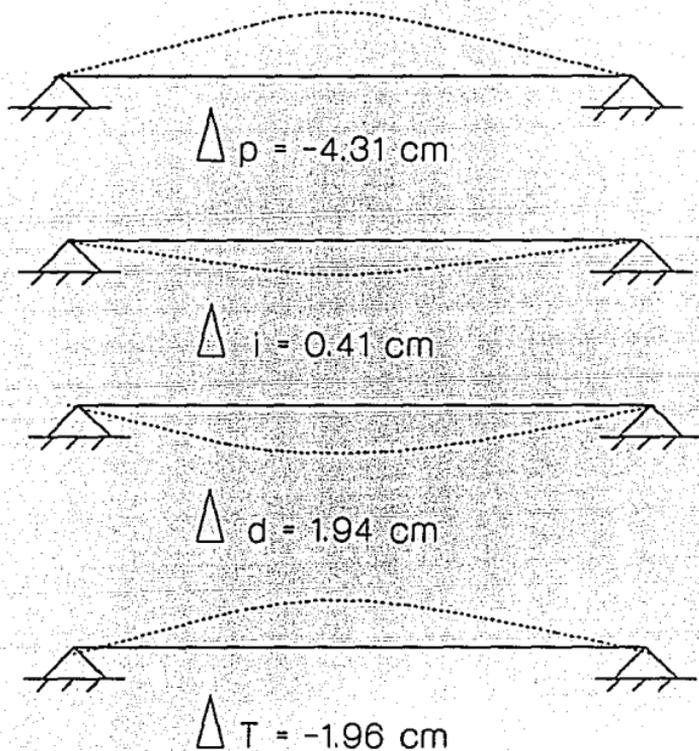


FIGURA 3.3

CAPITULO IV

CONCLUSIONES.

Este trabajo forma parte de los trece capitulos que integran los apuntes para la asignatura Presfuerzo y Prefabricación, que se cursa en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., es por tal motivo, que el trabajo desarrollado en esta tesis, se presenta de una forma sencilla y un tanto elemental; es decir el presente trabajo, no es un tratado de información especializada del tema de las deflexiones. Si por alguna razón se hace necesario mas profundidad en el tema, se recomienda consultar la bibliografía anexa.

Cabe señalar que para las deflexiones máximas permisibles, y específicamente para los elementos de concreto presforzado, es necesario el consultar El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 1987 (RCDF-87) y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Publicaciones en las cuales se encuentran los valores límite de las deflexiones, para diferentes condiciones de carga y en diferentes etapas de la vida útil del elemento.

En el capítulo número tres se presenta, en forma resumida, el capítulo del reglamento que trata el tema de las deflexiones.

Si se comparan los ejemplos realizados, aplicando el método propuesto por el Prestressed Concrete Institute (PCI) y el método recomendado por el RCDF-87, se puede ver que los resultados del

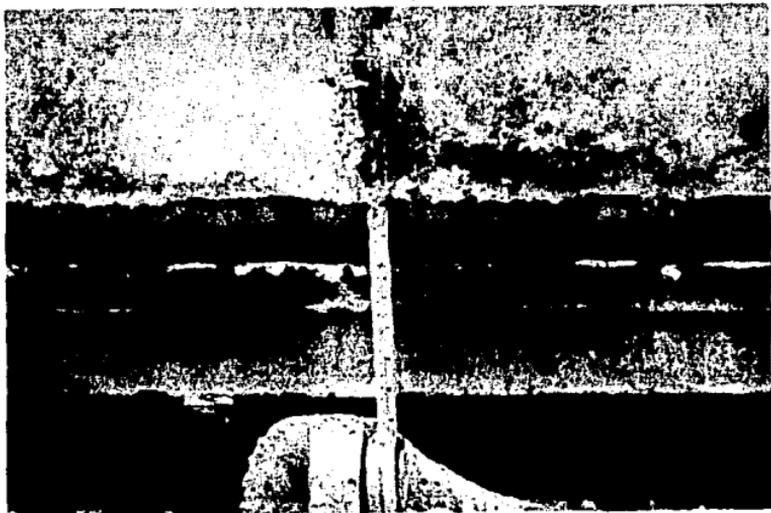
segundo, son mas conservadores a diferencia del primero, el cual da una deflexión mayor; ambos resultados cumplen con las deflexiones permisibles sin problema alguno.

Si bien el rcdf-B7 es mas conservador, lo que hace que la pieza en algunos casos, se encuentre sobrada; la aplicación del método propuesto por este reglamento, es relativamente sencilla en comparación con la aplicación de otros métodos, y la diferencia que pudiera haber, entre los dos resultados, en muchos de los casos no justifica la aplicación de algún método mas elaborado.

Es importante señalar que los métodos presentados son validos para elementos pretensados típicos, de sección simple y simplemente apoyados. Si se presentara un caso en el cual el elemento estructural, sea de sección compuesta, se recomienda usar el método propuesto en el Apendice B.

El cálculo de las deflexiones en elementos presforzados de concreto, presentan ciertas dificultades, debido a las características de los materiales, que para ellos se requiere, por lo tanto se hace necesario que se siga investigando en relación con este tema, con el fin de ampliar el conocimiento de las deflexiones de los elementos estructurales en general y de los elementos de concreto presforzado en particular.

En las siguientes fotografías se ve claramente la deflexión que presentan los elementos presforzados, y se confirma que los métodos usados en la presente tesis están sobrados.



Deformación al centro del claro 5 cm.

Deformación al centro del claro.



APENDICE A

" METODO DE EVALUACION DE DEFLEXIONES DE LARGO PLAZO EN ELEMENTOS PRESFORZADOS, BASADO EN LA ECUACION DEL ACI "

El Reglamento ACI proporciona en la sección 9.5.2.3, una ecuación para calcular la deflexión diferida en elementos de concreto reforzado; dicha ecuación proporciona el factor de largo plazo " λ ", el cual, multiplicado por la deflexión instantánea, nos da el valor de la deflexión diferida.

La ecuación del ACI es :

$$\gamma = \left[2 - 1.2 \frac{A's}{A_s} \right] \geq 0.6 \quad (1)$$

en donde:

A's = área de acero en compresión.

A_s = área de acero en tensión.

Desafortunadamente no se da una guía para elementos de concreto presforzado.

La determinación de contraflechas y deflexiones en elementos de concreto presforzado, es algo más compleja por :

- 1) Efectos del presfuerzo y pérdidas de presfuerzo en el tiempo.
- 2) Ganancia en resistencia después de la transferencia del presfuerzo.
- 3) La contraflecha o deflexión no es importante únicamente en los estados inicial y final, sino que también, en el montaje, el cual ocurre en un tiempo variable después de colada la pieza.

Este método sugiere una forma racional para determinar los factores de largo plazo para elementos presforzados y además es consistente con la ecuación del ACI para elementos de concreto reforzado.

Hay que tomar en cuenta que debido a las distintas variables que afectan a la contraflecha o deflexión, como el mezclado del concreto, forma de almacenaje de la pieza, tiempo de relajación del presfuerzo, tiempo para el montaje de la pieza, colocación de sobrecargas, humedad relativa, etc.; los valores calculados son estimativos.

El uso de los factores aquí sugeridos, deben ser limitados a los elementos presforzados típicos.

Otros métodos más precisos de evaluación de las deflexiones, pueden ser usados en casos especiales.

DETERMINACION DE FACTORES

Debido a los efectos de largo plazo antes señalados, los factores aquí calculados están basados en suposiciones de elementos presforzados típicos, considerando la resistencia del concreto, pérdidas de presfuerzo, etc., y también utilizando un redondeo en los valores calculados.

El diseñador puede calcular sus propios valores del factor de largo plazo, basado en información conocida de diseño.

La determinación de los factores comienza con la ecuación de la sección 9.5.2.3 del ACI.

Sin acero en compresión, el factor base " b " para la deflexión adicional de largo plazo es :

$$\lambda_b = 2 - 1.2 \emptyset / A_s = 2.0 \quad (2)$$

En concreto reforzado, la deflexión elástica se basa normalmente en el modulo de elasticidad correspondiente al de la resistencia total del concreto presforzado, los factores se aplican a la contraflecha al momento de la transferencia.

Así que, el factor de largo plazo que se aplica a la deflexión inicial causada por el peso propio del elemento sera:

$$\lambda_{wf} = E_{ci} / E_c \lambda_b \quad (3)$$

Como la resistencia del concreto en la transferencia es usualmente el 70% de la resistencia a los 28 días, E_{ci} es aproximadamente el 85% del valor final.

De aquí se tiene que la ecuación (3) se convierte en:

$$\lambda_{wf} = 0.85 \lambda_{wb} = 0.85 (2) = 1.7$$

y el factor que se aplica a la deflexión inicial sera entonces:

$$1 + \lambda_{wf} = 1 + E_{ci} / E_c \lambda b$$

$$1 + \lambda_{wf} = 1 + 1.7 = 2.7 \quad (4)$$

Para determinar la componente hacia arriba de la contraflecha o deflexión final, el factor que se aplica a la contraflecha inicial se debe de reducir por las perdidas de presfuerzo que puedan ocurrir.

El factor de largo plazo sera:

$$\lambda_{pf} = \lambda_{wf} * P/P_o \quad (5)$$

Las perdidas totales son generalmente supuestas o calculadas, y son del 20 al 30%, y la parte que corresponde a las de largo plazo son del 10 al 20%.

Si se un valor promedio del 15%, $P = 0.85P_o$ y:

$$\lambda_{pf} = 1.7 (0.85) = 1.45$$

El factor usado para determinar la componente hacia arriba de la contraflecha o deflexión final es:

$$1 + \lambda_{of} = 1 + \lambda_{wf} P/P_o$$

$$1 + \lambda_{pf} = 1 + 1.45 = 2.45 \quad (6)$$

Las cargas muertas permanentes, como pisos y cubiertas, causan una deflexión inmediata y una adicional de largo plazo.

Puesto que la deflexión de largo plazo es un resultado del flujo plástico causado por dicha carga permanente adicional, el factor de largo plazo es el mismo que el factor base:

$$\lambda_{sc} = \lambda_b \quad (7)$$

$$1 + \lambda_{sc} = 1 + 2.0 = 3.0 \quad (8)$$

La ecuación (8) indica el factor que se aplica a la deflexión elástica causada por la superposición de la carga muerta.

ETAPA DE MONTAJE DE LA PIEZA

La contraflecha al tiempo del montaje de la pieza también es importante. No existe un tiempo fijo para realizar esta actividad, aunque ocurre usualmente de 30 a 60 días después de colocada la pieza.

Algunas investigaciones han demostrado que el flujo plástico y la contracción del concreto, son los factores primarios en el comportamiento de la pieza; alcanzando estos, en ese periodo de tiempo, del 40 al 60 % de su valor último. Así que es razonable suponer que la mitad de la contraflecha o deflexión han ocurrido en ese mismo periodo.

El factor para la fase de montaje será:

Para la componente hacia abajo por peso propio. El factor de montaje es:

$$\lambda_{wm} = 0.5 \lambda_{wf} \quad (9)$$

Y el factor que se aplica a la deflexión inicial debida al peso propio del elemento es:

$$1 + \lambda_{wm} = 1 + 0.5 \lambda_{wf}$$

$$1 + \lambda_{wm} = 1 + 0.5 (1.7) = 1.85 \quad (10)$$

Para la componente hacia arriba, el factor de montaje es :

$$\lambda_{pm} = \lambda_{wm} P + P_o / 2 P_o \quad (11)$$

Y el factor aplicado a la contraflecha es :

$$1 + \lambda_{pm} = 1 + 0.85 (0.925) = 1.8 \quad (12)$$

ELEMENTOS DE SECCION COMPUESTA

Para elementos de sección compuesta, los factores finales deben ser modificados por el incremento en el momento de inercia, despues de colocada la losa, o firme estructural.

Si la sección simple se convierte en sección compuesta, casi al tiempo del montaje, la diferencia entre los factores de largo

plazo de la sección no compuesta en el montaje y al final, deben ser multiplicados por la relación de momentos de inercia de la sección no compuesta I_o/I_c .

Los factores de largo plazo serán como sigue:

$$\lambda_{wfc} = \lambda_{wm} + (\lambda_{wf} - \lambda_{wm}) (I_o/I_c) \quad (13)$$

Y el factor que se aplica a la componente hacia abajo inicial es:

$$1 + \lambda_{wfc} = (1 + 0.85) + (1.7 - 0.85) (I_o/I_c)$$

$$1 + \lambda_{wfc} = 1.85 + 0.85 (I_o/I_c) \quad (14)$$

Para elementos usados comunmente con una losa de 5.00 cm de espesor, la relación de momentos de inercia varia entre 0.5 y 0.8.

Usando un valor promedio de 0.65, la ecuación (14) se convierte en:

$$1.85 + 0.85 (0.65) = 2.4 \quad (14a)$$

Similarmemente el factor de largo plazo para la componente hacia arriba es:

$$\lambda_{pfc} = \lambda_{pm} + (\lambda_{pfc} - \lambda_{pm}) (I_o/I_c) \quad (15)$$

Y el factor aplicado a la contraflecha inicial es:

$$1 + \lambda_{wm} (P + P_o / 2 P_o) (1 - I_o/I_c) + \lambda_{wf} (P/P_o) (I_o/I_c) \quad (16)$$

$$1 + \lambda_{pfc} = 1 + (0.85) (0.925) (0.35) + (1.7) (0.85) (0.65)$$

La deflexión instantánea causada por la colocación de la losa se calcula usando las propiedades de la sección simple, así que los efectos de largo plazo son:

$$\lambda_1 = \lambda_{sc} (I_o/I_c) \quad (17)$$

Y el factor es entonces:

$$1 + \lambda_{sc} (I_o/I_c) = 1 + 2 (0.65) = 2.3 \quad (18)$$

La deflexión causada por otras sobrecargas se calcula usando las propiedades de la sección compuesta; así que el factor utilizado es el mismo que el de la ecuación (8).

APENDICE B

" DEFLEXIONES EN VIGAS PRESFORZADAS DE SECCION COMPUESTAS "

La evaluación de las deflexiones en vigas presforzadas de sección compuesta presenta mayores dificultades que las vigas de sección simple.

Las razones principales, de lo anterior, son las siguientes:

- 1) La viga trabaja con sección simple en su etapa inicial y como sección compuesta después de colada la losa.
- 2) Se tienen diferentes propiedades de largo plazo de la viga prefabricada y de la losa colada en sitio, además de presentarse diferentes edades de carga.
- 3) Por las razones anteriores, las deflexiones de largo plazo son sustancialmente influenciadas por el tiempo y los trabajos de construcción.
- 4) Una vez que la losa es colada, las pérdidas de presfuerzo posteriores llevan a la deflexión adicional de largo plazo cuyo efecto se puede ver aumentado por la sugestión que proporciona la losa.
- 5) Diferente contracción y flujo plástico entre la viga prefabricada y la losa colada en sitio, influyen en la deflexión de largo plazo.

No es simple la solución del problema y aunque en algunas soluciones son propuestas en la literatura técnica, siempre contienen algunas suposiciones simplificadorias en las que se tiene cierta incertidumbre.

Para problemas comunes de diseño Antoine E. Naaman recomienda el siguiente procedimiento:

- 1) Calcular la deflexión elástica instantánea debida a la fuerza de prefuerzo y a peso propio de la viga prefabricada. Para esto, úsese un valor promedio entre P y P_0 y un valor promedio entre E_{ci} y E_c ; llámese (Δ_i) .
- 2) Calcular la deflexión adicional de largo plazo de la viga prefabricada hasta el momento en que se coloca la losa. Llámese $(\Delta_{ad}) = \lambda_1 (\Delta_i)$, donde es un coeficiente a determinar.
- 3) Determinar la deflexión instantánea en la viga prefabricada debido al peso de la losa. Llámese (Δ_i) .
Nótese que esta deflexión vale cero si la viga está apuntalada.
- 4) Calcular la deflexión resultante en la etapa en que se coloca la losa, es decir:

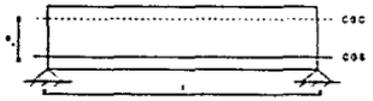
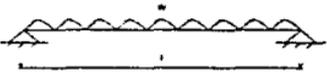
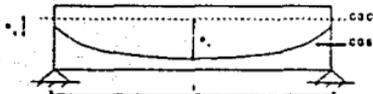
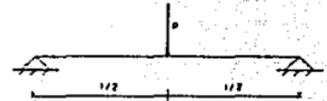
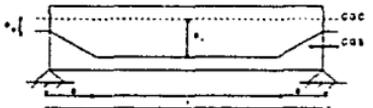
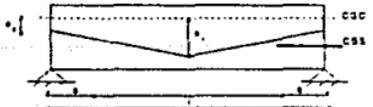
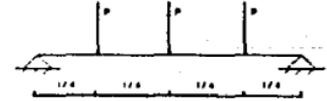
$$\Delta_4 = (\Delta_i) + (\Delta_{ad}) + (\Delta_i)$$
- 5) Determinar la deflexión instantánea debido a la carga muerta adicional que actúa en la sección compuesta, llámese $(\Delta_i)_5$.
- 6) Calcular la deflexión resultante de la viga compuesta, llámese $\Delta_6 = \Delta_4 + (\Delta_i)_5$.
- 7) Calcular la deflexión adicional de largo plazo en la viga compuesta, llámese $(\Delta_{ad})_7 = \lambda_2 \Delta_6$ donde λ_2 es un coeficiente a determinar.
- 8) Calcular la deflexión instantánea debido a la carga viva utilizando las propiedades de la sección compuesta.

Los coeficientes λ_1 y λ_2 dependen de las propiedades de los materiales y del tiempo que transcurre entre las distintas operaciones constructivas. Algunos valores promedio se pueden derivar de la referencia B o del Manual de Diseño PCI.

Nótese que la deflexión adicional de largo plazo que puede afectar a elementos no estructurales conectados con la viga, es la marcada en el número $\Delta 7$.

De los pasos descritos, en el paso 5, E_c puede tomarse como un promedio pesado de los dos concretos.

APENDICE "C"

CONTRAFLECHA DEBIDA AL PRESFUERZO	DEFLECCION DEBIDA A LA CARGA
 <p style="text-align: center;">CGC CGS</p> $\Delta = \frac{P \cdot a \cdot l^2}{6 E I}$ $\Delta = 0 \cdot \frac{l^3}{8}$	 <p style="text-align: center;">w</p> $\Delta = \frac{w \cdot l^4}{384 E I}$ $\Delta = 0 \cdot \frac{w \cdot l^4}{48}$
 <p style="text-align: center;">CGC CGS</p> $\Delta = \frac{P \cdot l^2}{8 E I} \left[0.5 + 3.14 (0.5 - 0.5) \right]$ $\Delta = 0 \cdot \frac{l^3}{8} \cdot (0.5 - 0.5) \cdot \frac{0.5 l^2}{24}$	 <p style="text-align: center;">P</p> $\Delta = \frac{P \cdot l^3}{48 E I}$ $\Delta = 0 \cdot \frac{l^3}{12}$
 <p style="text-align: center;">CGC CGS</p> $\Delta = \frac{P \cdot l^2}{8 E I} \left[-10 + 0.5 + 3.14 (0.5) \right]$ $\Delta = 0 \cdot \frac{l^3}{8} \cdot (0.5 - 0.5) \cdot \frac{l^2}{24}$	 <p style="text-align: center;">P</p> $\Delta = \frac{P \cdot a}{24 E I} (3l^2 - 4a^2)$ $\Delta = 0 \cdot \frac{P \cdot l^3}{24} \cdot \frac{0.5 l^2}{24}$
 <p style="text-align: center;">CGC CGS</p> $\Delta = \frac{P \cdot l^2}{8 E I} \left[0.5 + 3.14 (0.5 - 0.5) \right]$ $\Delta = 0 \cdot \frac{l^3}{8} \cdot (0.5 - 0.5) \cdot \frac{l^2}{24}$	 <p style="text-align: center;">P</p> $\Delta = \frac{18 P \cdot l^3}{384 E I}$ $\Delta = 0 \cdot \frac{18 P \cdot l^3}{192}$

ANEXO D

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO UTILIZANDO EL METODO DE PRESFUERZO

INTRODUCCION.

Como complemento del presente trabajo, se desarrolla a continuación el procedimiento constructivo para los diferentes tipos de trabes que se fabrican utilizando el método de pretensado, esto es cuando los cables de presfuerzo o torones son tensados antes de proceder con el colado del concreto.

Existen aspectos muy importantes en la fabricación de las trabes presforzadas que son; características de las secciones a fabricar, número de cables de presfuerzo, número de piezas, etc.. El estudio de estas características esta muy ligado a la toma de desiciones en la planta ya que no siempre se cuenta con el número de mesas disponibles para la fabricación de las trabes en el tiempo solicitado, también los desperdicios en el torón representan un comodín para la distribución de las piezas por fabricar. La secuencia o procedimiento constructivo para la elaboración de las trabes presforzadas es el que a continuación se ilustra, indicando que muchos de estos pasos tendran que ser realizados en completo orden y en forma sincronizada con las otras actividades, para poder hacer un producto más rápido y eficiente.

El Procedimiento Constructivo es el siguiente:

- 1.- Trazo y Nivelación de la Mesa de Presfuerzo.
- 2.- Tendido del Cable de Presfuerzo o Torón.
- 3.- Tensado del Cable de Presfuerzo o Torón.
- 4.- Habilitado del Acero de Refuerzo y Cimbra Metálica.
- 5.- Armado del Acero de Refuerzo.
- 6.- Cimbrado.
- 7.- Colado.
- 8.- Curado del Concreto utilizando Vapor.
- 9.- Descimbrado.
- 10.- Corte del Cable de Presfuerzo.
- 11.- Movimiento y Almacenaje de las Trabes.

- 1.- Trazo y Nivelación de la Mesa de Presfuerzo.

Después de haberse tomado la decisión de la distribución de las piezas, el primer paso a ejecutar es el del trazo del nivel o altura de la mesa y ancho de la misma, esto es debido a que no todas las piezas que se fabrican tienen las mismas características geométricas, otra razón es que los muertos de anclaje se encuentran fijos y a una misma altura, por tanto se tendrá que subir o bajar la altura de la mesa para que el torón pase según sea la indicación del proyecto estructural.

2.- Tendido del Cable de Presfuerzo a Torón.

Se procede a llevar el rollo del toron del almacen a uno de los extremos de la mesa, el peso aproximado de cada rollo es de tres toneladas por eso es trasladado con montacargas, una vez teniendo el rollo del torón se comienza a hacer el tendido a todo lo largo de la mesa, la longitud aproximada de cada mesa es de 105 metros por lo cual es importante el distribuir el mayor número de piezas sobre la mesa para tener el menor desperdicio, normalmente cada trabe presforzada tiene alrededor de 20 a 50 torones segun sea la condición de la carga a la que fue diseñada, dentro de este tendido se procede con el encamizado del torón, a base de poliducto según sea el diámetro del toron y la longitud de transferencia que se indique en el proyecto.

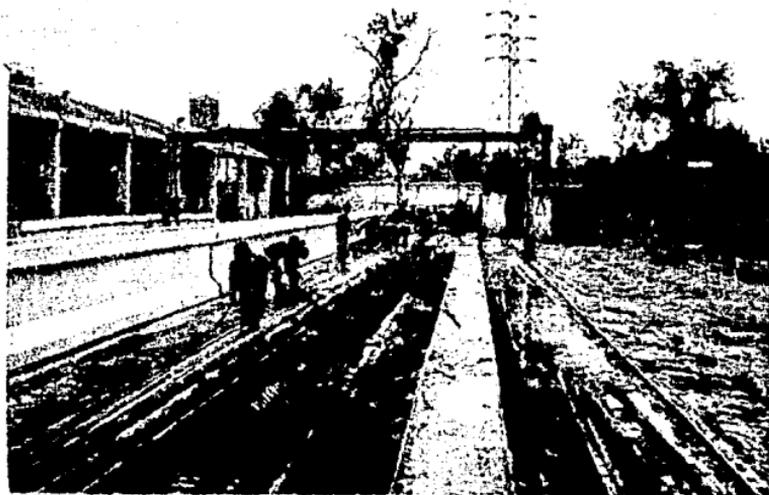
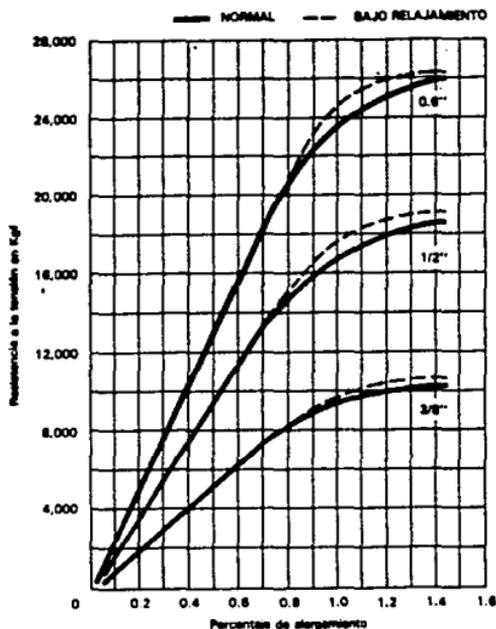


FOTO NO. 1 TENDIDO DEL TORON.



CABLE DE FRESFUERZO
O TORON.

TORON 270 K CURVA TIPICA COMPARATIVA DE ALARGAMIENTO



VALORES TIPICOS
PARA EL TORON

CURVA TIPICA COMPARATIVA
DE ALARGAMIENTO DEL TORON.

TORON 270 K SI/190 Kg/mm²

Norma-ASTM-A-416

*Normal: relevado de
esfuerzos.

TORON	Diámetro nominal		Área nominal (Mm ²)	Peso nominal (kg/m)	Carga mínima a la ruptura (kgf)	Carga mínima al 1% de alargamiento (kgf)	Alargamiento mínimo en 24 pulg %	Máximo alargamiento después de 1,000 hrs de carga inicial	
	(pulg)	(Mm)						Al 70%	Al 80%
Normal*	3/8	9.5	55.0	0.433	10442	8876	3.5	7.0	12.0
LO-LAX	3/8	9.5	55.0	0.433	10442	9397	3.5	2.5	3.5
Normal*	1/2	12.7	98.7	0.795	18750	15935	3.5	7.0	12.0
LO-LAX	1/2	12.7	98.7	0.795	18750	16866	3.5	2.5	3.5
Normal*	0.6	15.3	140.0	1.102	26604	22609	3.5	7.0	12.0
LO-LAX	0.6	15.3	140.0	1.102	26604	23948	3.5	2.5	3.5

3.- Tensado del Cable de Presfuerzo o Torón.

El método que se utiliza para el tensado del torón es a base de un gato hidráulico, en donde uno de los extremos del torón se encuentra sujeto con un juego de cuñas y al otro extremo se coloca el gato hidráulico donde se aplica la carga según proyecto y características de resistencia del fabricante que están en función del diámetro del torón, esta carga estará junto con el número de torones de la pieza en función del diseño, de ahí lo importante que es la completa sincronización en la fabricación de las piezas ya que la mayoría de las plantas tienen diseñados sus muertos de anclaje para una carga máxima y al sobrepasarla tendríamos problemas de volteo del muerto de anclaje.

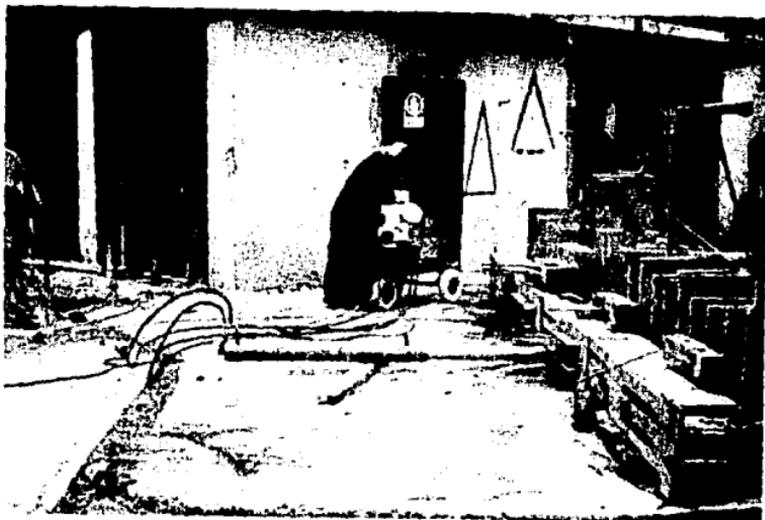


FOTO NO. 2 GATO HIDRAULICO TIPO FREYSSINET.

4.- Habilidado del Acero de Refuerzo y Cimbra metálica.

Estas actividades se inician paralelamente al trazo y nivelación de la mesa de presfuerzo, ya que se realizan en áreas distintas y con personal especializado en cada concepto. En el taller de habilidado es en donde en forma mecánica se le da forma a las diferentes partes que componen el armado de una pieza, anexo a este se encuentra el almacén del acero de refuerzo, este almacén tendra que estar cubierto o en su defecto tendra que resguardar con lonas al acero para evitar que este tenga corrosiones. En el taller de soldadura se les da diferentes formas a las láminas y angulos estructurales, reforzandolos para evitar deformaciones y que estas se boten a la hora de colar, procurando que la cimbra en conjunto sea lo más resistente y ligera para poder descimbrar y dar un mejor acabado a la

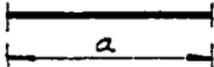
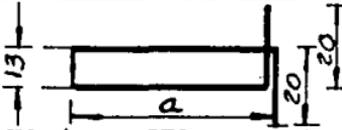
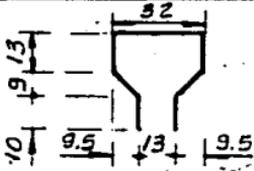
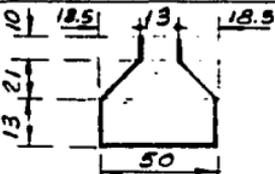
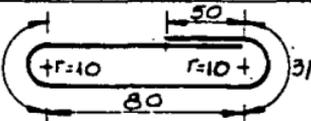
trabe.



FOTO NO. 3 HABILITADO DEL ACERO.

MATERIALES PARA UN TRABE

LISTA DE VARILLAS

VARS.	DIAM.	NUM.	TOTAL	CROQUIS	a	Peso Kg.
A	3C	16	2044		2044	183
B	3C	76	299		123	227
C	3C	76	106			25
D	3C	76	152			65
E	Cables 1.59 \$	6	272		31	18

Acero de presfuerzo torones de 1.27 \$

de LE $\approx 19\ 000\ \text{Kg/cm}^2$

352 Kg.

Acero de refuerzo LE $\approx 4000\ \text{Kg/cm}^2$

520 Kg.

Cables tipo CASCABEL galvanizado

serie G, 37 alma de acero de 1.27 \$

para izado.

18 Kg.

Concreto de $f_c = 350\ \text{Kg/cm}^2$

7.8 m³

ACERO DE REFUERZO.

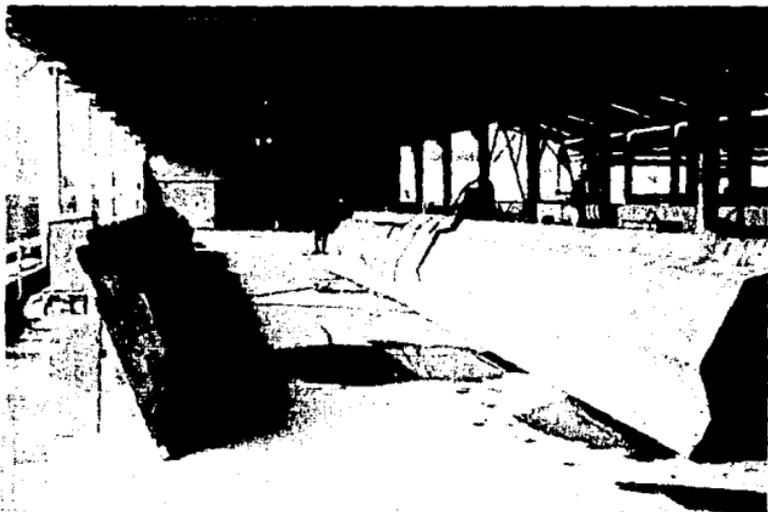


FOTO NO. 4 CIMBRA METALICA

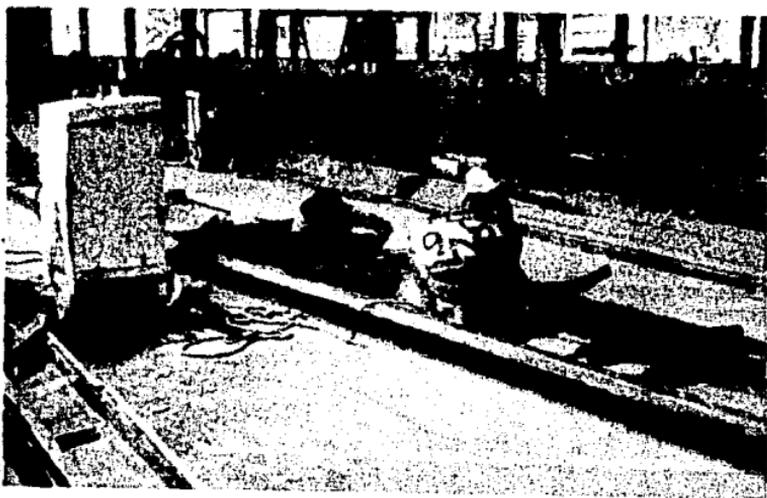


FOTO NO. 5 HABILITADO DE LA CIMBRA.

5.- Armado del Acero de Refuerzo.

Teniendo ya habilitado el acero se procede con el armado, una parte de este armado se realiza en patios cubiertos donde se procura que el acero de refuerzo no se moje, en este patio se arman algunas partes de la sección que posteriormente son llevadas a la mesa de presfuerzo y es ahí, en donde se les terminara de dar la forma de la pieza, por facilidad del armado algunos de los cables son tenzados cuando el armado ya se termino.

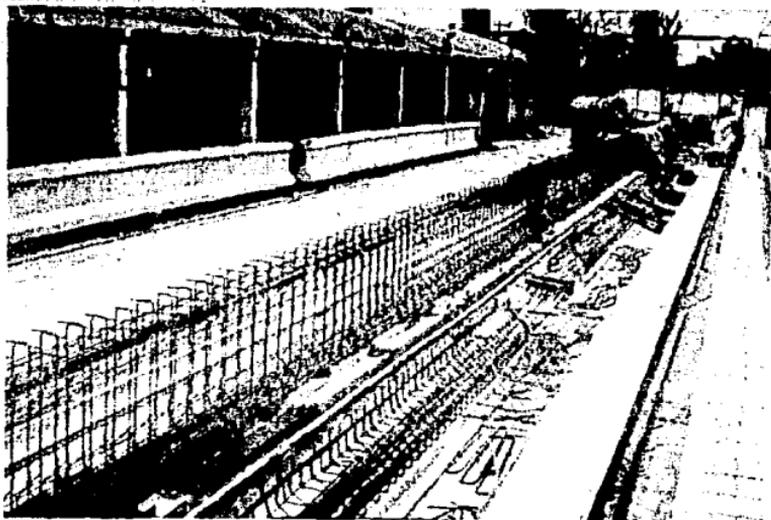
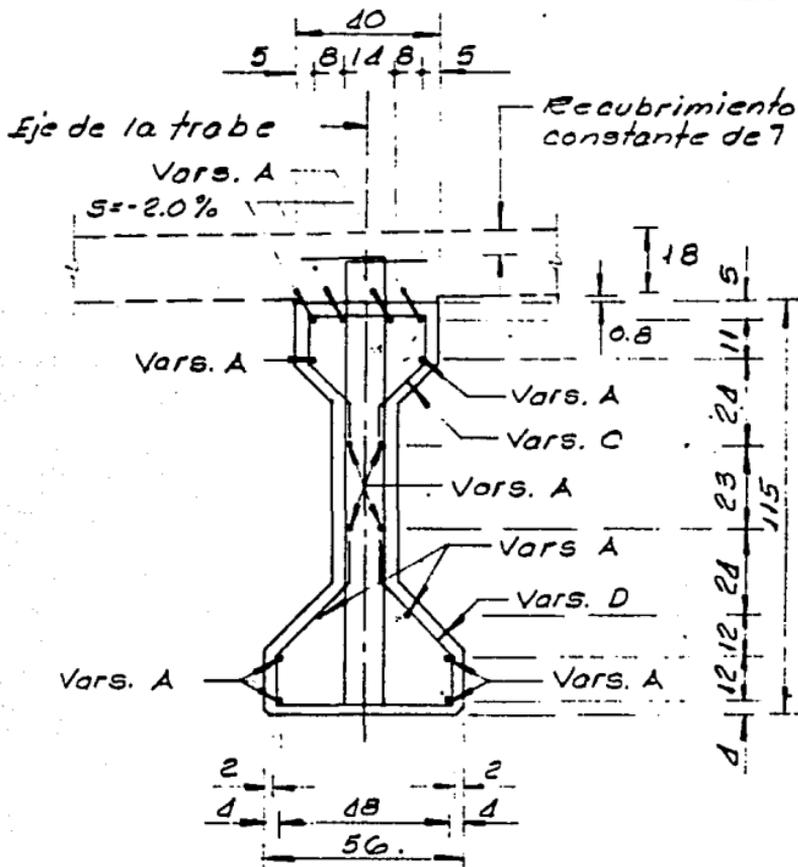


FOTO NO. 6 ACERO DE REFUERZO.



REFUERZO

(No se muestra el prestuerzo)

ARMADO DEL ACERO.

6.- Cimbrado.

Ya habilitada la cimbra metálica en taller se procede a trasladarla a la mesa de presfuerzo, se sugiere el aplicar una película de aceite quemado o diesel al molde en su parte de contacto con el concreto para evitar la adherencia entre estos. Posteriormente se realiza el montaje de la misma mediante marcos metálicos, una vez colocada la cimbra se realiza la colocación de los tapones en los extremos de cada pieza por colar, una vez realizado esto, se ejecuta la alineación de la cimbra, durante este proceso la cimbra tendrá que quedar perfectamente a plomo y en línea, ya que, de esta alineación dependerá que la pieza a la hora del descimbrado quede en las mejores condiciones estéticas y así se suprime el trabajo de un albañil que posiblemente realice un resane.

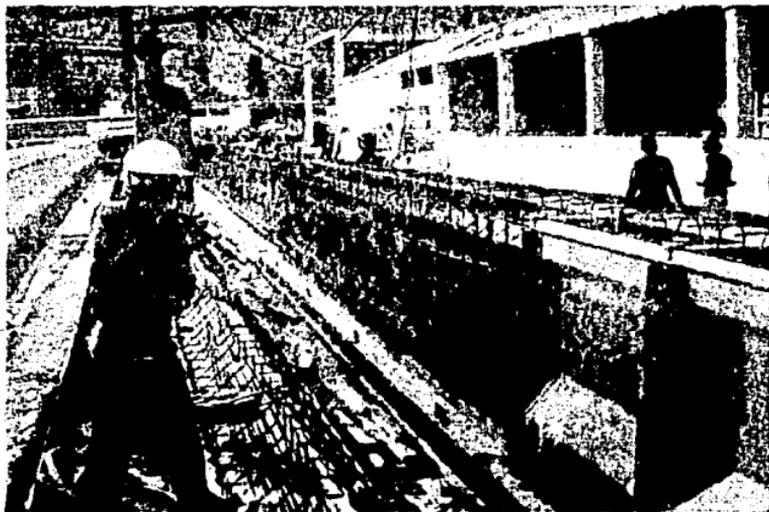


FOTO NO. 7 CIMBRADO.

7.- Colado.

Se sugiere que para la fabricación del concreto se disponga de una planta dosificadora, ya que el promedio de la resistencia de este tendra que ser con un $f_c=350$ kg/cm². El procedimiento para el colado se realiza por medio de bobcat o montacargas, según la dosificación del concreto se recomienda mantener un revenimiento promedio de 8 a 12 centímetros, el vibrado de este concreto tiene que realizarse en forma especial, procurando no tener contacto con la cimbra ya que se producen burbujas entre el concreto y el molde. Durante este proceso se realiza la prueba del revenimiento y un muestreo de cilindros, mismos que serán ensayados en laboratorio para conocer la resistencia del concreto e indicar si se procede con el corte del presfuerzo o no.



FOTO NO. 8 COLADO.

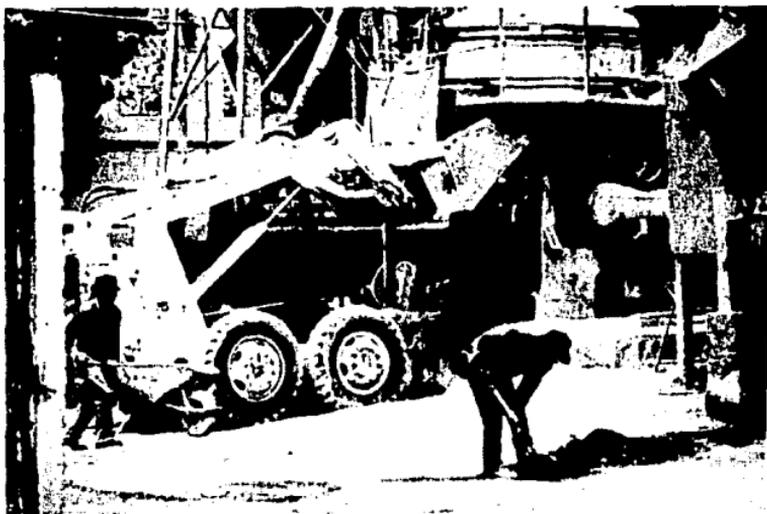


FOTO NO. 9 PLANTA DOSIFICADORA.



FOTO NO. 10 REVENIMIENTO.

B.- Curado del Concreto utilizando Vapor.

En esta etapa se acelera el tiempo del curado del concreto, ya que se le aplica vapor a la pieza para poder descimbrar y ocupar nuevamente la cimbra en otra pieza. Se recomienda que terminado el colado se deje reposar cuando menos una hora el concreto y posteriormente se le aplique una hora de vapor a la pieza, esto nos permite que en dos horas terminado el colado se este descimbrando y volviendo a utilizar la cimbra. Se pretende con esta secuencia de pasos tener el menor número de juegos de cimbra, reduciendo notablemente el costo, este procedimiento se realizara con todas las piezas de la línea para que al estar colada la última pieza se le proceda a dar a toda la línea el vapor necesario. Las horas de vapor de las piezas estarán en función de la urgencia que se tenga por volver a ocupar la línea.



FOTO NO. 11 CURADO A VAPOR.

9.- Descimbrado.

El descimbrado se realizará por medio del marco metálico, procurando hacerlo con el mayor cuidado y esperando el resultado del curado del vapor, para que en este la pieza no tenga fisuras, agrietamientos o posibles desprendimientos del concreto por no haber alcanzado la resistencia para tal efecto. En esta etapa se tendrá que supervisar perfectamente el manejo y movimiento de la cimbra, ya que, aquí el molde sufre grandes depreciaciones, los tapones extremos serán desoldados cuidando de proteger con una lona los torones para evitar que alguno de estos se pudiera romper.

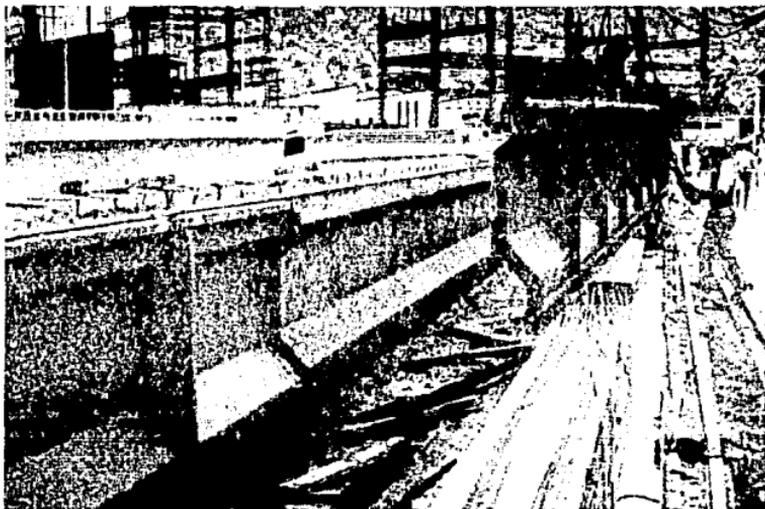


FOTO NO. 12 DESCIMBRADO.

10.- Corte del cable de Presfuerzo.

Una vez descimbrado y teniendo limpia el área, se verifica en laboratorio que la resistencia del concreto sea la del proyecto, se autoriza a realizar el corte cuando el concreto alcanza una resistencia de 300 kg/cm² este valor depende de lo que el proyectista indique en la respectiva memoria de calculo o plano. La forma como se realiza el corte deberá de ser dependiendo del número de piezas que se tengan por línea y teniendo un equipo de corte entre cada pieza. El corte se realiza en forma simétrica y sincronizada iniciando del lecho superior y procurando ir de los extremos hacia el centro. Durante este procedimiento se aprecia claramente la deflexion que sufre la pieza durante todos los cortes.



FOTO NO. 13 CORTE DEL TORON.

11.- Movimiento y Almacenaje de las Trabes.

En esta etapa se realiza la desocupacion de las diferentes piezas de la línea para transportarlas al patio de almacenaje, el izaje de las piezas podrá ser de un extremo o de ambos. Esta maniobra estará condicionada a la capacidad de la grua y habilidad del maniobrista, ya que, depende mucho de esta actividad que nuevamente se pueda volver a usar la mesa. El problema de almacenaje suele ser muy complejo, ya que, la mayoría de estos patios son muy pequeños, por ser la maniobra bastante tardada se tendrá que manejar un programa de entrega o de almacenaje, ya que, se puede presentar el caso de que una pieza quedara encerrada y provocaría una serie de movimientos que no se tendrían en cuenta en el precio de la misma.



FOTO NO 14 ALMACENAJE

Conclusiones.

El procedimiento constructivo tendrá que estar estrictamente planeado, ya que dependiendo de esto se minimizarán los tiempos de fabricación, se reducirán los desperdicios de los materiales y como consecuencia el costo de las piezas, algunas de las actividades propuestas se tendrán que hacer paralelamente, para ello se tendrán que definir perfectamente cuadrillas de trabajo que se especialicen en cada actividad.

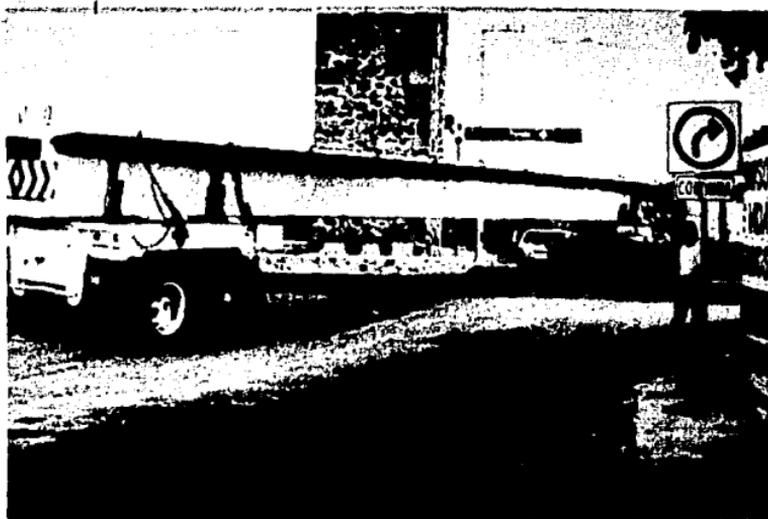


FOTO NO 15 TRANSPORTE.

REFERENCIA.

- 1.- "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal".
Colegio de Ingenieros Civiles de México.
- 2.- "Normas Tecnicas Complementarias del Reglamento de Construcción
para el Distrito Federal",
Colegio de Ingenieros Civiles de México.
- 3.- Nilson, Arthur; "Diseño de Estructuras de Concreto
Presforzado"
México. D.F., 1982.
- 4.- Naaman. Antoine; "Prestressed Concrete, Analys and Design",
New York, Mc-Graw Hill, 1982.
- 5.- Park R., Paulay T.; "Estructuras de Concreto Reforzado",
México D.F., Limusa, 1983.
- 6.- Meli, Roberto; "Diseño Estructural".
México,D.F., Limusa, 1985.
- 7.- "PCI Design Handbook", Prestressed Concrete Institute.
Chicago, 1978.
- 8.- Branson, Dan; "Deflexiones de Estructuras de Concreto
Reforzado". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
México,D.F.,1981.

9.- "Curado Acelerado del Concreto a Presión Atmosférica".
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
Mexico, D.F., 1990.

10.- T.Y. Lin. "El Cálculo de las Estructuras de Concreto
Presforzado".
Mexico, D.F., C.E.C.S.A., 1960.