



2 e j  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**E.N.E.P ARAGON**

## **FALLA DE ORIGEN**

**GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO,  
FABRICACION Y CONSTRUCCION DE VIGAS  
PREFABRICADAS DE CONCRETO**

# **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERIA CIVIL  
P R E S E N T A ,  
ANDRES AGUILAR PEREZ**



**ARAGON EDO. DE MEXICO**

**1995**



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 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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

INGENIERIA CIVIL

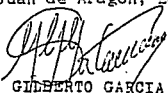
UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE

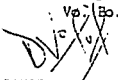
MEXICO LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS  
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA  
P R E S E N T E

Me dirijo a usted, para informarle que el C. Andrés Aguilar Pérez pasante de la Carrera de Ingeniería Civil, con número de cuenta 8340087-6 ha terminado la elaboración de la tesis profesional titulada: " GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO, FABRICACION Y CONSTRUCCION DE VIGAS PREFABRICADAS DE CONCRETO "

Lo que comunico a usted para los fines que se estime procedente.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., 6 de Septiembre 1994.

  
ING. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA G.  
DIRECTOR DE TESIS

  
M.en I. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ  
JEFE DE CARRERA DE ING. CIVIL

c.c.p. ING. MANUEL MARTINEZ ORTIZ, Jefe del Depto. de Servicios Escolares  
ING. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ, Jefe de Carrera de Ingeniería Civil  
, Srto. Técnico de Ingeniería Civil

ASESOR DE TESIS  
COMITE DE TESIS  
INTERESADO



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA II  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

ANDRES AGUILAR PEREZ  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 20 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GONZALEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO, FABRICACION Y CONSTRUCCION DE VIGAS PREFABRICADAS DE CONCRETO", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., Octubre 19 de 1993  
EL DIRECTOR

  
M EN CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Ing. José Paulo Mejorada Mota, Jefe de Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Ing. Gilberto García Sanatamaria, Asesor de Tesis.

  
CCMC/AIR/eva



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACAYÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LIC. ALBERTO ESCOBAR ROSAS  
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA  
PRESENTE.

Por medio de la presente me permito relacionar los nombres de los estudiantes que sujeción inscritos en el curso del Examen Profesional -  
del curso: ANDRES AGUILAR PEREZ, con el tema de tesis: "ANÁLISIS Y  
DISEÑO SOBRE EL DISEÑO, FABRICACIÓN Y CONTRUCCIÓN DE VIGAS PCC -  
FABRICADAS DE CONCRETO".

PRESIDENTE:	ING. JORGE JIMÉNEZ RAMÍREZ	01-02-85
SECRETARIO:	ING. ENRIQUE HERNÁNDEZ QUINTO	16-11-85
INVENTARIO:	ING. SILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GLEZ.	33-03-88
SUPLENTE:	M. EN I. DANIEL VELÁZQUEZ VAZQUEZ	14-05-93
SUPLENTE:	ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEÓN	16-03-93

Quiero subrayar que el director de la tesis es el ING. SILBERTO -  
GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ, el cual está inscrito en base a lo -  
que está en el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPañOL"  
San Juan de Aragón, Esc. de Ing. Civil, 15 de Noviembre de 1995.  
EL JEFE DE LA CARRERA

V. EN T. DANIEL VELÁZQUEZ VAZQUEZ  
SECRETARIO  
ACAYÓN, U. N. A. M.

- ING. MANUEL MARTÍNEZ CRÍZ - JEFE DE LA ESCUELA, Esc.
- ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEÓN - JEFE DE LA CARRERA
- ING. SILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GLEZ - AUTOR DE TESIS
- COMITÉ DE TESIS
- INTERESADO

**A G R A D E C I M I E N T O S :**

**AL ING. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GONZALEZ**

Por su apoyo en la realización de este trabajo.

**A MIS PADRES:**

**FRANCISCA PEREZ OLIVER**

Por su cariño y amor maternal, y -  
por no permitirme faltar a clases -  
en días de enfermedad aparente.

**DANIEL AGUILAR MERINO.**

Por ser el principal constructor -  
de mi espíritu terrenal y por su -  
amor que se expande más allá de es  
ta efmera existencia, gracias -  
papá.

A MIS HERMANAS:

CAMERINA

MARIA DE JESUS

MAGDALENA

REMEDIOS

SILVIA

Que por ser mujeres entiendo a ese  
sexo, su problemática y el respeto  
que se merecen.

A MI HERMANO

NICOLAS:

Por ser uno de los arquetipos  
en la formación de mi pensamiento  
actual.

A MIS AMIGOS:

En especial a NAZARIO GARCIA  
Que se encuentra en el etéreo  
firmamento universal.

AL CREADOR DEL UNIVERSO

Que no te he conocido por la fé  
sino por el milagro de vivir.

G r a c i a s .



# C O N T E N I D O

Págs.

## SIMBOLOGIA.

### I

#### INTRODUCCION.

- Prefabricación
- Definición del presfuerzo
- Pretensado
- Postensado
- Propiedades de los elementos  
de concreto presforzado.

### II

#### FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE VIGAS

##### PREFABRICADAS

- Tipificación, unificación, módulo.
- Dimensiones y tolerancias
- Pérdidas de presfuerzo
- Teoría básica del presfuerzo
- Criterios de diseño
- Ejemplos numéricos

### III

#### PROCESOS FABRILES DE LAS VIGAS

##### PREFABRICADAS

- Métodos de fabricación
- Fabricación
- Almacén
- Montaje
- Transporte
- Conexiones

### IV

#### CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LAS VIGAS

##### PREFABRICADAS.

- Tipos de vigas (uso común)
- Ejemplo.

### V

#### RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION

##### MEDIANTE VIGAS PREFABRICADAS

- Pasos o puentes peatonales.
- Conjunto comercial.
- Prefabricados en el metro (zona tren subterráneo)
- Sistema de lanzamiento.  
(proceso constructivo de un puente).

VI

CONCLUSIONES

Anexo

Bibliografía

Índice de palabras.

## Simbología

- $A$  = Area de la sección de un elemento.
- $A_c$  = Area de la sección total del concreto.
- $A_p$  = Area del acero de presfuerzo.
- $A_{pf}$  = Parte del  $A_p$  requerida para desarrollar la resistencia a compresión de los patines salientes.
- $A_{pw}$  = Parte del  $A_p$  requerida para desarrollar la resistencia a compresión del alma.
- $A_s$  = Area del acero de refuerzo.
- $A_v$  = Area de refuerzo para cortante.
- $a$  = Peralte del bloque de esfuerzos rectangular a compresión.
- $B = b$  = Ancho de la cara a compresión del elemento.
- $b_e$  = Ancho efectivo del patín.
- $b_1$  = Ancho del alma.

- C = Fuerza de compresión (kg)
- c = Profundidad del eje neutro en el diagrama de deformaciones.
- d = Distancia de la fibra extrema en compresión, al centroide del acero a tensión.
- dp = Peralte efectivo para el acero presforzado.
- ds = Peralte efectivo para el acero no presforzado.
- d' = Distancia del centroide del acero de presfuerzo al lecho inferior de la sección.
- E = Módulo de elasticidad ( $\text{Kg/cm}^2$ )
- Ec = Módulo de elasticidad del concreto.
- Ep = Módulo de elasticidad del acero presforzado.
- Es = Módulo de elasticidad del acero no presforzado.
- e = Excentricidad del tendón de acero presforzado.
- F = Fuerza aplicada al tendón de acero presforzado.

- F = Fuerza aplicada al tendón de acero presforzado.
- Fcr = Factor de seguridad contra el agrietamiento.
- f = Esfuerzo de flexión ( $\text{kg/cm}^2$ )
- fci = Esfuerzo de compresión admisible en el concreto inmediatamente después de la transferencia.
- f<sub>CMadic</sub> = Esfuerzo de las cargas muertas adicionales en la fibra superior.
- fcv = Esfuerzo de las cargas vivas en la fibra superior.
- fcs = Esfuerzo de compresión admisible en el concreto bajo la carga de servicio después de todas las pérdidas.
- fi = Esfuerzo de flexión en la superficie inferior del concreto.
- fic = Esfuerzo de flexión en la superficie inferior de la sección compuesta.
- fip = Esfuerzo de flexión en la superficie inferior del elemento prefabricado.
- fit = Transferencia del esfuerzo en la superficie inferior del elemento de concreto.

$f_{pe}$  = Esfuerzo en el acero de presfuerzo debido a la fuerza efectiva de presfuerzo, después de todas las pérdidas.

$f_{pi}$  = Esfuerzo temporal en el acero de presfuerzo al momento de la transferencia (presfuerzo inicial).

$f_{pj}$  = Esfuerzo en el acero de presfuerzo, debido a la fuerza que ejerce el gato sobre el tendón.

$f_{ppfirme}$  = Esfuerzo del peso propio del firme en la fibra superior del concreto.

$f_{ps} = f'_s$  = Esfuerzo en el acero de presfuerzo en la resistencia nominal a flexión.

$f_{pptt}$  = Esfuerzo del peso propio de la sección TT en la fibra superior del concreto

$f_r$  = Módulo de ruptura del concreto.

$f_s$  = Esfuerzo de flexión en la superficie superior del concreto.

$f_s$  = Esfuerzo en el acero de refuerzo.

$f_{sc}$  = Esfuerzo de flexión en la superficie superior de la sección compuesta.

- $f_{s_p}$  = Esfuerzo de flexión en la superficie superior de la--  
sección prefabricada.
- $f_{st}$  = Transferencia del esfuerzo en la superior del elemen-  
to de concreto.
- $f_{ti}$  = Esfuerzo admisible a la tensión del concreto, una vez  
transcurrida la transferencia.
- $f_{ts}$  = Esfuerzo admisible a la tensión del concreto, bajo la  
carga de servicio, después de todas las pérdidas.
- $f'c$  = Resistencia a compresión del concreto.
- $f'ci$  = Resistencia a compresión del concreto, al momento de-  
la transferencia del presfuerzo.
- $f'c_{Madic}$  = Esfuerzo de las cargas muertas adicionales en la -  
fibra inferior del concreto.
- $f'cv$  = Esfuerzo de las cargas vivas en la fibra inferior del  
concreto.
- $f'_{ppfirme}$  = Esfuerzo del peso propio del firme en la fibra -  
inferior del concreto.



$f'_{p\text{ptt}}$  = Esfuerzo del peso propio de la sección TT en la fibra inferior del concreto.

$f'_{\text{sult}}$  =  $f_{pu}$  = Resistencia o esfuerzo último a tensión del acero de presfuerzo.

$f_y$  = Resistencia a la fluencia del acero reforzado.

$H$  = Peralte total de la sección compuesta.

$h$  = Peralte de la sección simple (espesor promedio)

$h_1$  = Diferencia entre el peralte de la sección simple y el espesor del patín.

$h_2 = h_p$  = Espesor del patín.

$h_3$  = Espesor del firme de concreto.

$I$  = Momento de inercia (segundo momento del área,  $\text{cm}^4$ )

$I_c$  = Momento de inercia que corresponde al área (sección) compuesta.

$I_p$  = Momento de inercia que corresponde al área (sección) prefabricada.

- $K$  = Constante de transferencia del presfuerzo
- $K_b$  = Distancia límite del núcleo central desde el c.g.c. (centro de gravedad del concreto) a la parte inferior del mismo.
- $K_t$  = Distancia límite del núcleo central desde el c.g.c. (centro de gravedad del concreto) a la parte superior del mismo.
- $L$  = Longitud del claro del elemento.
- $M$  = Momento flexionante (kg-m).
- $M_{CMadic}$  = Momento flexionante considerando sólo las cargas muertas adicionales.
- $M_{cr}$  = Momento de agrietamiento
- $M_{cv} = M_L$  = Momento flexionante considerando sólo cargas vivas.
- $M_d$  = Todo tipo de cargas muertas.
- $M_{m\acute{a}x}$  = Momento máximo que resiste el elemento a la flexión.
- $M_n$  = Momento resistente último o nominal antes de aplicar

el coeficiente de reducción  $\phi = 0.90$

$M_{ppfirme}$  = Momento flexionante considerando el peso propio --  
del firme.

$M_{ppTT}$  =  $M_o$  = Momento flexionante considerando el peso propio--  
de la sección TT.

$M_R$  = Momento último resistente o actuante.

$M_T$  = Momento total ó sumatoria de los momentos requeridos--  
en el elemento propuesto.

$M_u$  = Momento último de diseño.

$n$  = Relación modular.

$n_c$  = Relación modular para el concreto, utilizada en una --  
viga compuesta =  $E_{pref.}/E_{Losa}$ .

$n_p$  = Relación modular para el concreto, utilizada en una --  
viga prefabricada =  $E_p/E_c$ .

$P$  = Fuerza en el acero presforzado (Kg.).

$P_e$  = Fuerza efectiva del presfuerzo, después de todas las --  
pérdidas.

$P_i$  = Fuerza inicial de presfuerzo, al momento de la transferencia.

$P_o$  = Fuerza presforzante.

$P_T$  = Pérdidas de tensión en los torones de presfuerzo.

$P_{T_i}$  = Pérdidas de tensión en el presfuerzo en la fibra inferior.

$P_{T_s}$  = Pérdidas de tensión en el presfuerzo en la fibra superior.

$S$  = Módulo de sección ( $\text{cm}^3$ )

$s$  = Separación en los estribos y en los amarres, sobre carga útil =  $w_{cMadic.} + w_{cv}$

$S_{ic}$  = Módulo de sección de la superficie inferior del elemento compuesto =  $I_c/y_i$ .

$S_{sc}$  = Módulo de sección de la superficie superior del elemento compuesto =  $I_c/y_s$

$S_{sci} = S_{sl}$  = Módulo de sección en la fibra superior de la sección compuesta.

$S_{ip} = S_i =$  Módulo de sección en la fibra inferior del elemento prefabricado  $= I/y_i$ .

$S_{sp} = S_s =$  Módulo de sección en la fibra superior del elemento prefabricado  $= I/y_s$

$T =$  fuerza de tensión (Kg).

$T_p =$  fuerza de tensión del acero presforzado en los cálculos del momento último.

$T_s =$  fuerza de tensión del acero reforzado en los cálculos del momento último.

$T_u =$  fuerza de tensión última, sumatoria de las tensiones.

$V =$  fuerza cortante.

$V_c =$  resistencia nominal al cortante (fuerza), proporcionada por el concreto.

$V_n =$  resistencia nominal al corte (Fuerza)

$V_s =$  resistencia nominal al cortante (fuerza), proporcionada por el refuerzo de cortante.

$V_u$  = fuerza cortante última de diseño.

$W$  = carga uniforme distribuida (Kg/m)

$W_{CMadic}$  = Peso de las cargas muertas adicionales.

$W_{cv}$  = Carga viva uniformemente distribuida.

$W_{ppfirme}$  = Carga del peso propio del firme.

$W_{pptt}$  = Carga del peso propio de la viga TT.

$W_o$  = Carga del peso propio del elemento.

$W_u$  = Carga sumatoria de un elemento.

$Y$  = Distancia vertical, medida desde el eje centroidal hasta cualquier nivel.

$Y_i$  = Distancia del centroide del elemento a sus fibras extremas inferiores.

$Y_s$  = Distancia del centroide del elemento a sus fibras extremas superiores.

$\beta_1$  = Coeficiente de reducción de la profundidad del eje neutro para obtener la profundidad del block de compresión.

$\gamma_c$  = Peso volumétrico del concreto ( $\text{Kg/m}^3$ )

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  = Componentes de la deformación del acero pres --  
forzado.

$\epsilon_c$  = Deformación en el concreto.

$\epsilon_{cu}$  = Deformación última del concreto a compresión en la fa-  
lla  $\epsilon_c=0.003$ .

$\epsilon_s$  = Deformación en el acero de presfuerzo o reforzado.

$\epsilon_{s_{\text{presF}}}$  = Deformación en el acero de presfuerzo al momento de tensarlo.

$P_p$  = Porcentaje del acero presforzado =  $A_p/bd$

$P_s$  = Porcentaje del acero reforzado =  $A_s/bd$

$\sigma$  = Esfuerzo unitario ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$\phi$  = factor de reducción de la resistencia, también como -  
diámetro del acero.

## I

## INTRODUCCION

## Prefabricación

A principios del siglo XIX la revolución técnica condujo sus actividades en la industrialización de todos los campos de la producción con excepción de la agricultura y la construcción. El retraso en la construcción se debió a su complejidad y una variedad de obstáculos a vencer, como el aislamiento entre las comunidades humanas que con el desarrollo del transporte mecánico y la abertura de nuevos caminos lograría una favorable globalización urbanística con el aprovechamiento de toda clase de materiales.

Así en la primera postguerra mundial la evolución de las técnicas tradicionales y la prefabricación empiezan a dar buenos matices constructivos con el empleo de nuevos materiales (acero, concreto y vidrio), relegando la madera a segundo término, la cual ofrecía las típicas características de estandarización.

Pero no fué sino después de la segunda guerra mundial cuando se produce el verdadero avance en la prefabricación. Apareciendo la producción en serie que sirvió para aliviar las necesidades de habitación, reconstrucción de comunicacio



nes y centros de trabajo. Es así como la prefabricación nace con la industria como respuesta a los problemas de tipo económico, de calidad y tiempo. Actualmente la prefabricación trabaja en dos modalidades básicas: El concreto presforzado que se realiza con los métodos del pretensado y postensado y el concreto arquitectónico con el que se pueden diseñar elementos ligeros que sirven tanto arquitectónicamente como estructuralmente con o sin presfuerzo.

En México se despertó el interés de la prefabricación no sin antes existir la duda de la efectividad de este nuevo sistema constructivo. Por lo que un número reducido de empresas envueltas en esta actividad se esforzó por abrir mercados y convencer a la gente de las bondades de la prefabricación, es decir, se trató de obtener un lugar para este sistema constructivo, por lo que se utilizaron técnicas, equipos y soluciones copiadas de otros países; así se constituyó un gran número de nuevas empresas, no sólo en la ciudad de México, sino también en provincia, demostrando las ventajas del empleo de los distintos elementos prefabricados.

#### El Presfuerzo en la Prefabricación

La prefabricación y el presfuerzo guardan una estrecha relación en la fabricación de los elementos y las cargas

que soportan.

La historia de la prefabricación con elementos soportando cargas empieza tal vez con las vigas de concreto del casino de Biarritz, París en el año de 1891. Unos años más tarde, a principios del siglo XX, Eugene Freyssinet (considerado como el padre del concreto presforzado) realizó pruebas del presfuerzo que lo llevaron a pensar que este sistema sería una proposición práctica con la disponibilidad tanto del acero de alta resistencia como del concreto de alta calidad, ambos materiales arribaron lentamente y en 1928 Freyssinet estableció la teoría del presfuerzo. Por lo que pasada la segunda Guerra Mundial, Magnel en Bélgica y Hoger en Alemania hicieron surgir las ideas básicas de los sistemas del presforzado estableciendo dos métodos de construcción: El de Pre tensado y el del Postensado.

En México, una vez introducida la Prefabricación se desarrollaron técnicas mexicanas en el presforzado, así surgieron elementos constructivos como las vigas doble "T" de peralte variable o las vigas de sección "Y" que ayudaron a diversificar el número de elementos en el presfuerzo.

Hoy existe una asociación fundada en 1966, que agrupa a los industriales dedicados al presfuerzo y prefabricación.

del concreto, tanto estructural como arquitectónico, así como a todo lo que se relacione con esta actividad. Sus siglas son ANIPPAC (Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y Prefabricado A.C.). Los objetivos de la asociación son diversos como:

El servir de órgano de consulta al público en los asuntos relacionados con los materiales presforzados y prefabricados, fomentar su empleo, establecer especificaciones y normas de calidad que se apliquen en toda la República Mexicana y lograr que éstas sean coordinadas por las autoridades correspondientes.

En general, toda actividad que tenga como fin, el progreso de la industria del concreto presforzado y prefabricación en México.

En lo referente al contenido de este libro se presentan aspectos estructurales y funcionales de los elementos prefabricados y presforzados unidireccionalmente (acero de presfuerzo a lo largo del elemento de concreto, vigas o trabes). Además de las ventajas que ofrece la prefabricación en relación a los sistemas tradicionales.

### Definición del Presfuerzo

El concreto simple como sabemos es muy inferior en su resistencia a tensión que a la compresión. Ahora bien en el concreto compuesto o concreto reforzado observamos que aún cuando su refuerzo garantiza una resistencia adecuada, no im pide el agrietamiento a niveles de carga relativamente bajos.

Por otro lado si se presfuerza un elemento estructural, o sea si se crea en él esfuerzos antes o al mismo tiempo que la aplicación de las acciones exteriores tales que al combinarse con los esfuerzos correspondientes a las cargas exteriores anulen los esfuerzos de tensión o los mantengan menores que los esfuerzos permisibles de los materiales empleados, se podría mejorar el comportamiento general de la estructura. Lo que indica que el presfuerzo se puede lograr introduciendo una fuerza que crea esfuerzos de compresión en el elemento esforzado previamente, anulando así los esfuerzos de tensión.

El presfuerzo se utiliza para controlar el estado de agrietamiento en una estructura de concreto y el estado de deformación.

El concreto presforzado puede concebirse como una mo-

dadidad del concreto ordinario, constituyendo el presfuerzo una sollicitación artificial que se introduce en los elementos estructurales para alcanzar alguna finalidad de ventaja sobre otros elementos no presforzados.

#### Presentación del Acero de Presfuerzo

El acero usado como presfuerzo ha sido el conocido desde 1962 como acero resistente de grado 270 K con una resistencia mínima de ruptura de  $270,000 \text{ lb/plg}^2$  ( $18,983 \text{ Kg/cm}^2$ ). Se presenta como cable, cable trenzado o torón, lo que significa que este acero de alta resistencia viene dado en hilos de diferentes diámetros, entre los que se encuentran alambres de 5 a 7 mm de diámetro y otros de mayor diámetro formando en su mayoría paquetes o conjuntos de alambres.

El cable trenzado como el torón consta de 7 alambres 6 de los cuales envuelven en forma helicoidal a uno recto. El largo de estos cables de presfuerzo dependen del método y dimensiones que se utilicen para la fabricación de un elemento de concreto.

Las longitudes y la forma en que trabaja el acero de presfuerzo en las vigas prefabricadas depende del método de presfuerzo a utilizar. Así en pretensado los torones pueden librar claros de 6 a 45 metros y en postensado abarcar cla -

1) Tabla del acero resistente para presfuerzo  
Presentación del Acero para el presfuerzo.

Fza. Galeo Máxima	Nombre	No. de hilos	Ducto (mm)	Acero (Kg/m)	AS <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
ALAMBRE DE 7 mm					
36 tons	807	8 de 7mm	39	2.5	4
54 tons	1207	12 de 7mm	42	3.7	4
CABLE Ø 3/8"					
30 tons	4Ø3/8"	4 de 3/8"	39	1.7	4
45 tons	6Ø3/8"	6 de 3/8"	42	3.7	4
90 tons	12Ø3/8"	12 de 3/8"	76	5.0	5.5
CABLE TRENZADO, TORON Ø 1/2"					
52 tons	4Ø1/2"	4 de 1/2"	42	3.24	4
78 tons	6Ø1/2"	6 de 1/2"	45	4.8	5.5
104 tons	8Ø1/2"	8 de 1/2"	76	6.4	6.5
156 tons	12Ø1/2"	12 de 1/2"	76	9.7	8
234 tons	18Ø1/2"	18 de 1/2"	81	14.5	10

ros hasta 200 metros, como en puentes.

La Tabla 1 indica una clasificación del acero de presfuerzo.

#### Tensado de los cables de Acero

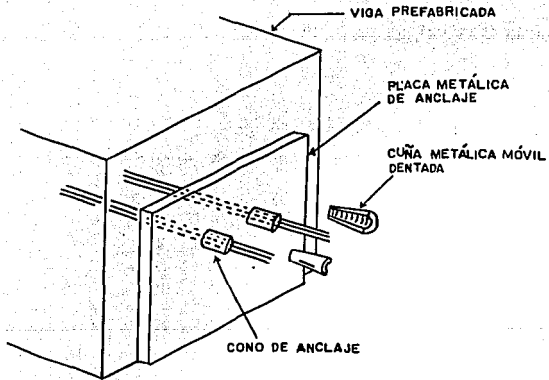
El tensado del acero se da estirando individualmente los cables con gatos hidráulicos o en conjunto ubicados dentro de un elemento de concreto.

El control del presfuerzo aplicado se obtiene por medio de la longitud estirada y por manómetros adaptados a los gatos hidráulicos. Los dispositivos usados para sujetar los tendones son temporales y de características diversas, estos mantienen la fuerza de tensión en el acero de presfuerzo hasta el alargamiento deseado y su posterior retracción.

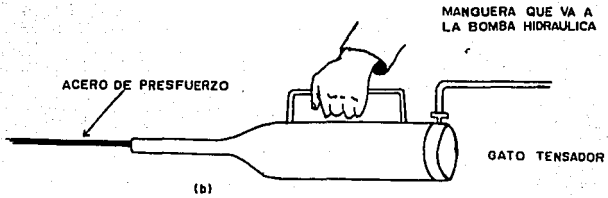
La figura 1.1 indica uno de los dispositivos de anclaje simple (a) y el tensado de un cable con un gato hidráulico (b).

#### Vigas Prefabricadas de Concreto Presforzado

Son elementos estructurales fabricados con concreto - de alta calidad, acero de refuerzo y acero de presfuerzo. Es



(a)



(b)

FIGURA 1.1



tas vigas soportan cargas mayores que los elementos fabricados sin presfuerzo.

Las etapas principales de una viga de concreto presforzado no compuesta se analizan dentro de límites de cargas de trabajo y esfuerzos admisibles.

Estas etapas son:

- "Transferencia después del presfuerzo", se refiere a la viga después de sufrir pérdidas elásticas del presfuerzo debido al tensado y a la posterior compactación por la retracción de los cables cuando se han dejado de tensar.
- "Después de todas las pérdidas del presfuerzo", se refiere a cuando en la viga se han presentado todas las pérdidas de presfuerzo y aplicado las últimas cargas. Estas etapas se ilustran en la Figura 1.2

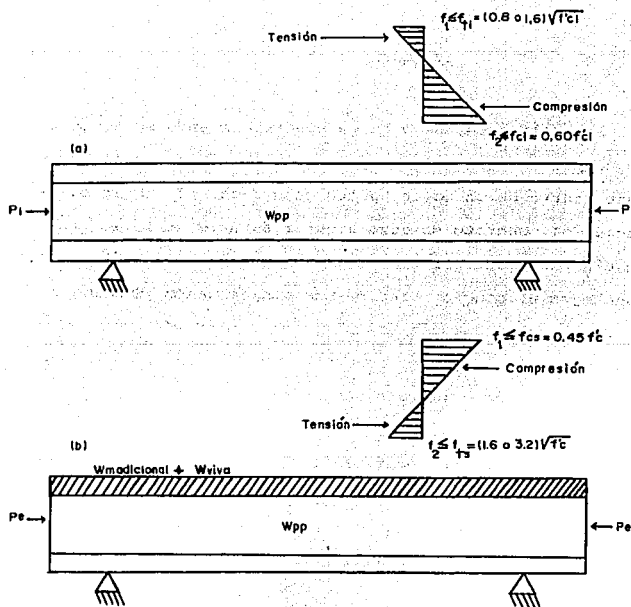


FIGURA 1.2

(a) ETAPA POSTERIOR A LA TRANSFERENCIA DE PRESFUERZO DEBIDO A LA FUERZA INICIAL DE PRESFUERZO  $P_i$  Y AL PESO PROPIO  $W_{pp}$ .

(b) BAJO LAS CARGAS DE SERVICIO Y DESPUES DE TODAS LAS PERDIDAS DE PRESFUERZO DEBIDAS A LA FUERZA EFECTIVA DE PRESFUERZO ( $P_e$ ), AL PESO PROPIO ( $W_{pp}$ ), A LA CARGA MUERTA ADICIONAL ( $W_{adic.}$ ), Y A LA CARGA VIVA ( $W_{viva}$ ).

### Pretensado

Se realiza en una viga de concreto cuando se tensa el acero de presfuerzo anclado, previamente en los muertos de anclaje dentro de un molde, antes de agregar el concreto. Al vaciar el concreto se cura a vapor durante un lapso menor de un día para acelerar el fraguado, al soltar los cables de sus anclajes el concreto recibe una compactación previa por medio de la transferencia de esfuerzos y a través de la adherencia entre el acero y el concreto. Por consiguiente, los cables quedan necesariamente adheridos.

Las vigas por el pretensado se prestan para la producción estandarizada, sus instalaciones para producción pueden estar ubicadas en la fábrica o en obra donde la misma operación se realiza en las mesas de colado.

Las plantas de fabricación están cubiertas, las mesas tiene 100 o más metros de longitud.

La ventaja del pretensado es de orden económico y de calidad por permitir el control de la mano de obra, de los materiales y operaciones con un ciclo de producción definido.

El volumen de producción del concreto pretensado en -

el mundo representa más de la mitad del concreto presforzado sin embargo su campo de aplicación es relativamente limitado.

El pretensado se aplica también en viguetas, losas -- aligeradas, tuberías, postes, columnas, pilotes, etc. Los -- tendones de presfuerzo en estos elementos son rectos o casi-rectos.

En cuanto al equipo en pretensado, el aspecto más importante consiste básicamente en la mordaza temporal que retiene a los torones junto con los muertos de anclaje durante y después del tensado.

#### Postensado

Se realiza cuando un molde se coloca el acero de presfuerzo dentro de ductos que lo alojan evitando la adherencia con el concreto durante el tensado. El concreto se vacía en los moldes ensamblados, y al adquirir la suficiente resistencia. Los cables, anclados previamente, se tensan con los gatos por un extremo o por ambos extremos simultáneamente.

Los cables o tendones dentro de cada ducto pueden tensarse individualmente o todos al mismo tiempo, es importante verificar tanto la extensión del tendón como la carga. Una -

vez tensados y anclados los cables, se inyecta una lechada de mortero en los ductos para que en condiciones de servicio exista adherencia entre los cables y el concreto. Por lo que al obtener la resistencia adecuada del concreto (curado a vapor) y aplicada la deformación necesaria al cable, se retiran los gatos hidráulicos y los cables o tendones quedarán anclados por dispositivos especiales.

El postensado puede usarse para grandes unidades prefabricadas con propósitos especiales, tanto en la obra como fuera de ella.

El modo más eficiente de utilizar la fuerza de presión al tratarse de grandes unidades es colocar los tendones con un perfil curvo.

Los tendones varían del hilo de 5 mm de diámetro (Fuerza útil = 2 ton) a cables compuestos de 70 torones de 1.52 cm  $\varnothing$  (Fuerza útil = 1000 ton.) y combinaciones de fuerza posibles. Las longitudes varían del metro y medio (estribos postensados de puentes) a los 200 m. o más (tuberías continuas o pistas de aviación).

La trayectoria de los tendones además del sentido curvo puede tomar cualquier otra forma en otros elementos presforzados como: en cables rectos (pilotes), cables helicoida-

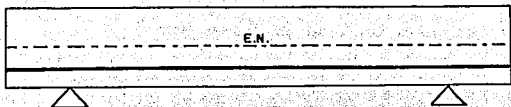
les bidireccionales (cajones de los reactores atómicos). La ventaja del postensado es que compite cada vez con mayor éxito con la construcción metálica y el concreto armado. ver - figura 1.3

#### Tipos de Anclaje en Postensado (Multitorón)

Los anclajes en postensado se clasifican en activos y pasivos. Los activos se colocan en la parte donde va a tensarse el elemento, los pasivos se colocan del lado no tensado del elemento. Los anclajes están constituidos por una placa metálica de forma variable, en vigas son placas cuadrangulares o rectangulares. La cuña o amarre de los torones puede ser circular (denominada multitorón), este tipo de anclaje es de uso frecuente en postensado.

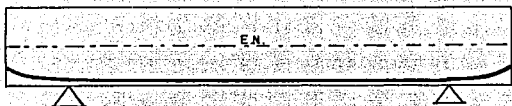
Los siguientes son algunos tipos de anclaje, ver Figuras 1.4.

- a) Anclajes activos o móviles son aquellos localizados al final de los cables donde la fuerza de tensión se aplica, este anclaje se puede disponer en ambas terminaciones, aunque la tensión sea llevada de un solo lado.



(a)

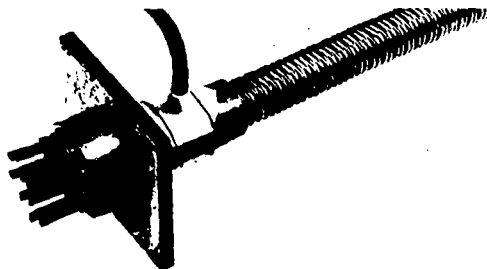
EN LAS VIGAS PRESFORZADAS POR EL METODO DEL PRETENSADO LA TRAYECTORIA DE LOS TENDONES SON REGULARMENTE RECTOS.



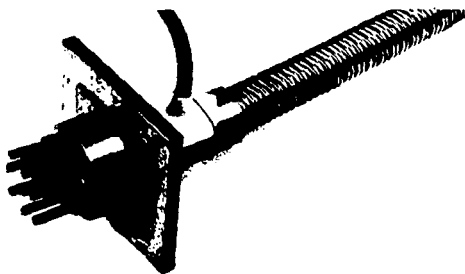
(b)

EN LAS VIGAS PRESFORZADAS POR EL METODO DEL POSTENSADO LA TRAYECTORIA DE LOS TENDONES TOMAN UN SENTIDO CURVO.

FIGURA 1.3



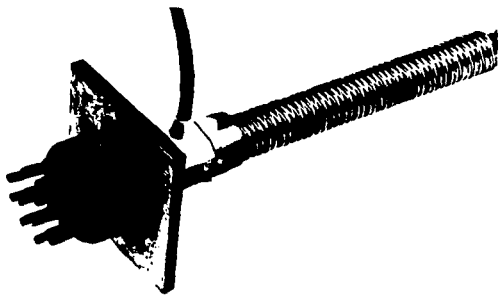
(a)



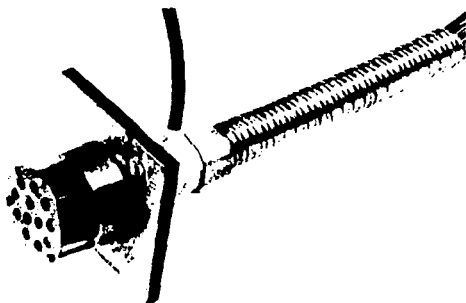
(b)

FIGURA 1.4





(c)



(d)

- b) Usado cuando se requiere recuperación de la pérdida - en la fuerza de tensión.
- c) Usado cuando se requiere ajustes en la fuerza de tensión después del tensado.
- d) Usado en la parte del elemento que no es tensado, anclaje pasivo.

Los ductos metálicos que se observan garantizan una adherencia con el concreto y el alojamiento independiente -- de los cables, la tubería de polietileno (manguera vertical) sirve para la aplicación de la lechada de mortero en los ductos.

#### Comparación entre el Pretensado y Postensado

Se consideran factores técnicos y económicos

#### Pretensado

Las instalaciones son costosas, propias para la fabricación de elementos estandar en forma repetitiva, el tamaño de los elementos se limita a consideraciones de manejo y transporte. Las desventajas esenciales son el alto costo de las inversiones en equipo, transporte, montaje y la dificul-

tad algunas veces de lograr uniones adecuadas entre los elementos prefabricados.

#### Postensado

Implica costos adicionales por conceptos de anclajes, ductos e inyección de ductos.

La ventaja es que se pueden construir estructuras monolíticas de grandes proporciones.

#### Propiedades de los Elementos de Concreto Presforzado

Las propiedades necesarias para el diseño de elementos de concreto presforzado son analizados en sus componentes principales: concreto y acero de presfuerzo.

#### Propiedades del concreto

- 1.- Resistencia a la compresión
- 2.- Esfuerzo - Deformación
- 3.- Módulo de Elasticidad
- 4.- Flujo Plástico y Contracción
- 5.- Resistencia a la tensión

### Resistencia a la Compresión

El concreto presforzado trabaja con resistencias de -  
300 kg/cm<sup>2</sup> a 500 Kg/cm<sup>2</sup>.

### Esfuerzo - Deformación

Se hace necesario para estimar la pérdida del pres -  
fuerzo en el acero y para otros efectos del acortamiento del  
concreto.

### Módulo de Elasticidad

El concreto no es un material elástico en sentido con -  
vencional, no se puede establecer un módulo de elasticidad -  
que guarde una relación lineal en las deformaciones del con -  
creto debidas a cargas de corta duración. El módulo de elas -  
ticidad es función de la resistencia del concreto y su peso -  
volumétrico.

### Flujo Plástico y Contracción

El flujo plástico se produce en el concreto en un au -  
mento en las deformaciones de los elementos con el paso del -  
tiempo bajo una carga constante, a esfuerzos normales de tra

bajo el flujo plástico es proporcional a los esfuerzos unitarios aplicados, pero en condiciones de cargas extraordinarias tal proporcionalidad no se mantiene.

La contracción se define como las deformaciones que se presentan debido al proceso de hidratación en el concreto con respecto al tiempo.

La contracción es en cierto modo proporcional a la cantidad de agua empleada en la mezcla, el concreto curado con humedad o vapor presenta un 70% de humedad relativa promedio. En diseño un valor promedio de deformación por contracción sería de 0.0002 a 0.0004 para las mezclas usuales de concreto presforzado.

#### Resistencia a la Tensión

Esta propiedad se desprecia en el concreto reforzado pero en el concreto presforzado es importante para el agrietamiento y seguridad del elemento.

#### Acero de Presfuerzo

El acero de presfuerzo se fabrica en plantas especializadas con una adecuada calidad, sus propiedades son:

- 1.- Resistencia a la tensión.

- 2.- Carga teórica de fluencia.
- 3.- Módulo de elasticidad.
- 4.- Adherencia.

#### Resistencia a la tensión

La resistencia del acero a la tensión varía de los -- 17,000 Kg/cm<sup>2</sup> a 22,000 Kg/cm<sup>2</sup>; este último valor corresponde a los aceros delgados menores de 33 mm de diámetro. En el -- acero de presfuerzo a medida que se consigue mayor resistencia, se tiene menor ductilidad. Por ello se debe estudiar -- con detalle el mecanismo de falla a flexión de las deforma -- ciones para evitar fallas frágiles.

#### Carga teórica de Fluencia

En el acero ordinario la carga de fluencia está por -- lo general definida pero a medida que se tiene mayor resistencia dicha carga desaparece. Es por eso que en el diseño -- de elementos presforzados se utiliza la carga teórica de -- fluencia correspondiente a la deformación del 1%.

#### Módulo de elasticidad

Se mantiene casi constante, por lo que no afecta su -- valor en el diseño de elementos de concreto presforzado, es-

importante su verificación ya que la aplicación de la fuerza de presfuerzo es por la medición de deformaciones.

#### Adherencia

Se requiere para anclar el acero de presfuerzo en el concreto y efectuar la transferencia de la fuerza de presfuerzo.

Gráfica Esfuerzo - Deformación  
De varios Aceros.

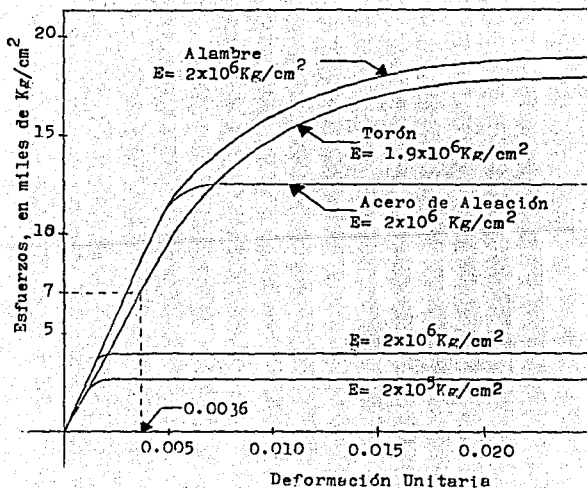


FIGURA 1.5



## II

## Fundamentos del Diseño de Vigas Prefabricadas

Las causas del diseño de vigas prefabricadas son diversas: La industrialización de la construcción, los progresos de la ingeniería en el campo de la estática, las innovaciones técnicas a base del preforzado, la racionalización interior de las fábricas en las empresas, la búsqueda en encontrar nuevos "tipos" de construcción, así como las modificaciones generales de las asociaciones y compañías.

Como principales características de estas vigas, pueden señalarse:

- Economías generales de mano de obra, en especial lo referente a trabajos artesanos.
- Transposición a factorías de gran cantidad del trabajo ejecutado en obra.
- Empleo intensivo de las máquinas.
- Precisión dimensional a fin de conseguir un montaje y ensamble sencillo con la consiguiente reducción de mano de obra y tiempo.

- Calidad que en la construcción responde igual al sistema tradicional tanto en solidez y duración como en la protección contra el frío, calor, lluvia, ruido, etc.
- No existe la improvisación, todo proceso es debidamente coordinado.
- Se tiene presente una agradable estética como condición indispensable en el proceso y acabado de las vigas.

#### Tipificación

Es la formación y selección de elementos destinados a la producción en serie, cuyas normas técnicas se adoptan por acuerdo entre productores y consumidores con el fin de unificar y simplificar determinados productos y facilitar su fabricación. Con lo que se obtiene la posibilidad de aumentar la productividad con una apreciable reducción de los gastos de inversión.

El caso más simple de tipificación de vigas se establece cuando la fábrica presenta un catálogo de productos frente a la fabricación sobre pedido en la que no existe tipificación alguna. La tipificación puede obtenerse sumando -

los distintos productos que se van creando o ser el resultado de una acción de diseño global.

### Unificación

La unificación resulta cuando las dimensiones de las vigas concuerdan entre sí y están coordinadas. Esta coordinación es posible por la introducción de una disposición de medidas que es la idea básica en donde se asienta la industrialización en materia de construcciones.

La unificación hace posible:

- La suma de los distintos elementos (vigas y trabes)
- Las combinaciones entre estos elementos.

### Módulo

A la unidad del sistema de medidas que hace factible los enunciados anteriores se le denomina módulo que es el máximo común divisor a partir del cual pueden deducirse todas las medidas de la construcción por adición o multiplicación. La magnitud de dicho módulo se elige según el libre criterio de cada uno, lo importante no es su tamaño, sino el hecho de su fijación.

En México se utiliza al centímetro como medida modular y múltiplos de 10 cm en el que las medidas preferentes y más ventajosas son las de 20, 60 120, 240, 300 cm., etc.

### Dimensiones y Tolerancias

Los elementos de concreto presforzado deben cumplir con las dimensiones especificadas por el fabricante, con las tolerancias que se indican:

#### Longitud

Las tolerancias en las longitudes hasta 10 m. deben ser de  $\pm 20$  mm. en longitudes mayores deben ser  $\pm 20$  mm + 1 mm por cada metro que exceda a los 10 m.

#### Ancho

Las tolerancias se señalan en la tabla 1

#### Peralte

- a) En elementos con peralte menor o igual a 50 cm, la tolerancia debe ser  $\pm 10$  mm.
- b) En elementos con peralte mayor de 50 cm, la toleran -

TABLA 1 .- TOLERANCIAS EN LA MEDIDA DEL ANCHO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PLANTAS INDUSTRIALES

ELEMENTOS AISLADOS O SEPARADOS			
Para $b \leq 20$ cm $\pm 0.5$ cm	Para $20 < b \leq 70$ cm $\pm 0.8$ cm	Para $70 < b \leq 200$ cm $\pm 1.1$	Para $200 < b \leq 300$ cm $\pm 1.3$ cm
ELEMENTOS TRANSVERSALMENTE UNIDOS ENTRE SI*			
Para $b \leq 20$ cm $\pm 0.3$ cm	Para $20 < b \leq 70$ cm $\pm 0.5$ cm	Para $70 < b \leq 200$ cm $\pm 0.8$ cm	Para $200 < b \leq 300$ cm $\pm 1.0$ cm

\* Estas tolerancias se aplican a los elementos individualmente.

TABLA 2.- NUMERO MAXIMO DE DUCTOS AGRUPADOS SEGUN SU DIAMETRO

Diámetro del ducto	Sentido Horizontal		Sentido Vertical	
	No. de ductos	Forma del Gpo.	No. de ductos	Forma del Gpo.
Menos de 5cm	2 max	oo	3 max	o
5 cm y Mayores	1 max	o	2 max	o

TABLA 3 .- CURVATURA DE CABLES

DIAMETRO DEL DUCTO	RADIO MINIMO DE CURVATURA
menor de 5 cm	5 m
5 cm y mayores	6 m

TOLERANCIAS EN COLOCACION DE CABLES	
d ( cm )	Tolerancias en cm
" d $\leq 16$ cm	$\pm 0.5$
$10 < "$ d $\leq 20$ cm	$\pm 1.0$
$20 < "$ d $\leq 50$ cm	$\pm 1.5$
$50 < "$ d "	$\pm 3.0$

cia debe ser  $\pm 20$  mm.

#### Flechas y Contraflechas

Las tolerancias están regidas por las condiciones - de proyecto, previo acuerdo entre fabricante y comprador.

Las tolerancias en las flechas y contraflechas dife-- renciales, entre 2 elementos adyacentes deben ser de  $\pm 1.50$ - mm por metro de longitud con un máximo de 2.50 mm.

#### Distribución del Acero de Presfuerzo

La distancia libre mínima entre alambres o torones - (en los extremos de las vigas) en el concreto pretensado de- be ser la que resulta mayor dos veces el diámetro de los - alambres o torones, o vez y media el tamaño máximo nominal - del agregado, esta separación debe respetarse cuando menos - en los tercios extremos del pretensado.

#### Cable dentro de ductos

( Concreto Postensado )

Los espacios mínimos horizontal y vertical entre duc- dos o grupo de ductos se indican en la figura 2.1

## ESPACIOS MINIMOS ENTRE DUCTOS

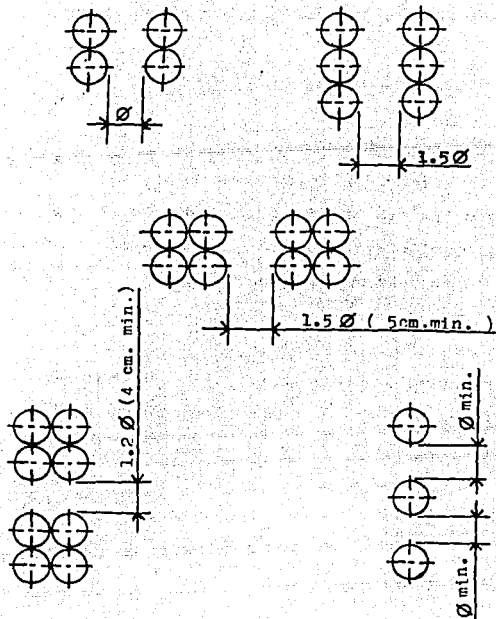


FIGURA 2.1

La distancia libre mínima entre grupo de ductos y las paredes de la viga se señalan en la figura 2.2

El agrupamiento máximo y la trayectoria de los cables se indican en las tablas 2 y 3 respectivamente.

#### Pérdidas de Presfuerzo

En el diseño de vigas de concreto presforzado, la fuerza de presfuerzo sufre pérdidas debido a varios factores como: El acortamiento elástico del concreto, la contracción del concreto, el flujo plástico, la relajación en el acero y en vigas postensadas pérdidas por fricción y por penetración de los anclajes.

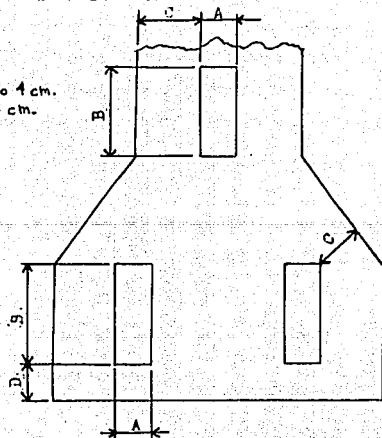
Para cálculos preliminares es común englobar la pérdida total de presfuerzo en un porcentaje que puede variar entre el 15 y el 25%.

Pérdidas	Pretensado (%)	Postensado (%)
Acortamiento elástico y flexión del concreto-----	3	1
Contracción del concreto-----	7	6
Flujo plástico-----	6	5
Relajación del acero-----	2	3
	<u>18</u>	<u>15</u>

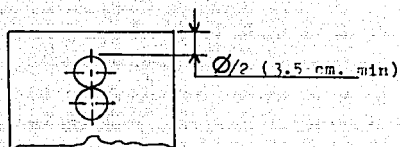


ESPACIOS MÍNIMOS ENTRE DUCTOS Y PAREDES

$C \geq A, 0.5B$  o 4 cm.  
 $D \geq 0.5A$  o 4 cm.



Distancias mínimas a las paredes cimbradas.



Distancia mínima a la parte superior  
 (no cimbrada)

FIGURA 2.2

### Acortamiento elástico en el concreto

Su valuación se reduce a aplicar los principios básicos de la elasticidad, esta pérdida es menos importante en vigas postensadas ya que se elimina al anclar los cables de presfuerzo en los extremos de la viga y sólo se consideran pérdidas producidas al aplicar el presfuerzo en diferentes etapas.

### Contracción del Concreto

La pérdida por contracción en vigas pretensadas y postensadas es semejante y se debe al acortamiento del concreto en el proceso de deshidratación.

### Flujo Plástico

Resultados de pruebas demuestran que las deformaciones en el concreto se incrementan con el tiempo y aun después de varios años. Esta pérdida está íntimamente ligada a la pérdida por contracción.

### Relajación de Acero

Se debe a la pérdida de fuerza que sufre el acero bajo una deformación constante durante varios años pero la--

mayor parte ocurre en el primer año, el 60% de la relajación total aparece en las primeras 24 horas. En la práctica se considera un 5% de la relajación total de acero.

#### PÉRDIDAS por Fricción

En postensado se generan pérdidas por fricción producidas por el contacto del cable con el material que lo rodea. Los esfuerzos de fricción son directamente proporcionales a la curvatura y a la fuerza de tensión de los cables.

#### Corrimiento de Anclajes

Esta pérdida por corrimiento de anclajes o deslizamiento de los alambres o barras que forman el cable en el dispositivo de anclaje se efectúa después de la operación de anclaje. Esta depende del sistema de anclaje, longitud del cable y valor de la fricción que exista. Los corrimientos varían entre 1 y 8 mm., según el sistema de anclaje.

#### Teoría Básica del Presfuerzo

Supongamos a las vigas simplemente apoyadas y de acuerdo a esto:

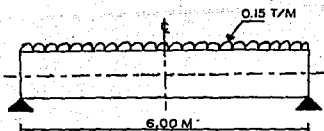
- Al flexionarse la viga sus secciones transversales -

planas permanecerán así y normales al eje longitudinal.

- Que el material de la viga obedezca la ley de Hooke -  
(El acero y concreto tengan la resistencia adecuada).

Esto significa que la deformación unitaria en cualquier punto de la sección transversal es proporcional a la distancia del punto al eje neutro y el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria; aplicado así sólo para condiciones de servicio y no para la carga última o de colapso. Los esfuerzos debido al efecto del presfuerzo se calculan por la teoría elástica. Para comprenderlo, consideremos una viga de concreto simple, libremente apoyada con una carga uniformemente distribuida, la configuración será: compresión (+) en la parte superior y tensión (-) en la parte inferior ambos de igual valor con los máximos al centro del claro Figura 2.3 A.

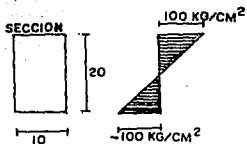
Ahora bien si a ésta viga se le adiciona acero de presfuerzo aplicándole una fuerza  $F = 20$  Ton. de compresión (durante la transferencia) en el centroide de la sección de concreto donde sucedió primero la tensión (antes de la transferencia) se obtendrá un esfuerzo uniforme que combinado con los esfuerzos del concreto dará un diagrama como el de la figura 2.3 B.



$$M = \frac{0.15 \times 6^2}{8} = 0.67 \text{ TM}$$

$$S = \frac{10 \times 20^2}{6} = 667 \text{ CM}^3$$

$$f_{l,s} = \frac{M}{S} = \frac{67000}{667} = 100 \text{ KG/CM}^2$$



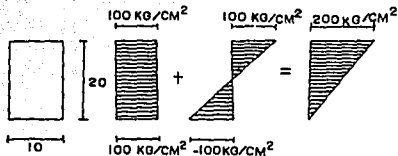
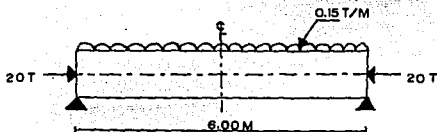
(A) VIGA DE CONCRETO SIMPLE

DONDE

A = AREA DE LA SECCION  
 F = FUERZA DE PRESFUERZO  
 M = MOMENTO FLEXIONANTE  
 S = MODULO DE SECCION  
 e = EXCENTRICIDAD DEL PRESFUERZO  
 $f_{l,s}$  = ESFUERZO EN FIBRA INFERIOR Y SUPERIOR RESPECTIVAMENTE.

$$f_{l,s} = \frac{F \pm M}{A \cdot S} = \frac{20000 \pm 67000}{10 \cdot 20 \cdot 667}$$

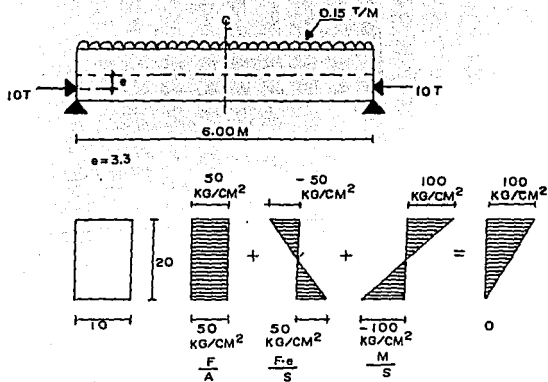
$$f_s = 200 \text{ KG/CM}^2 \quad f_l = 0$$



(B) VIGA CON PRESFUERZO AXIAL

$$f_{i,s} = \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e}{S} + \frac{M}{S} = \frac{10000}{10 \cdot 20} + \frac{10000 \times 3.3}{667} + \frac{67000}{667}$$

$$f_s = 100 \text{ KG/CM}^2 \quad f_i = 0$$



(C) VIGA CON PRESFUERZO NO CENTRICO

FIGURA 2.3

Un tercer caso se refiere cuando en lugar de tener una fuerza concéntrica, se aplica una fuerza excéntrica  $F$  a una distancia  $e$  bajo el eje neutro, lo que resulta equivalente a emplear una fuerza concéntrica  $F$  y un momento de  $F \cdot e$  que es la manera más común de presforzar una viga, ver la Figura 2.3 c

Por lo que los esfuerzos producidos en el concreto por un momento flexionante externo, sea por el peso propio de la viga se calculan por la teoría elástica usual:

$$F = M \cdot y / I = M / S$$

Los esfuerzos debidos tanto al presfuerzo como a la carga serán:

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

o también expresadas como:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e}{S} \pm \frac{M}{S}$$

En el estado final de la transferencia del presfuerzo no siempre se obtienen esfuerzos de compresión puros, por lo que es necesario siempre conocer los esfuerzos en las fibras superior e inferior. Se pueden provocar diferentes configuraciones debido a las diversas distancias  $e$ , por lo que la fuerza se debe aplicar en los límites del núcleo central (zona en la que permanece la Fuerza del cable).

Esta zona se extiende de una distancia  $K_b = S_i / A$  abajo del centroide de la sección hasta una distancia  $K_t = S_s / A$

arriba, con esto podemos diseñar una viga sin tensiones en el concreto, ver fig. 2.4

El tener esfuerzos de tensión grandes indica un factor de seguridad insuficiente contra la falla de la ruptura y el diseño no es aceptable.

Por último podemos deducir que para presforzar una viga de concreto, la magnitud de la fuerza aplicada dependerá de la excentricidad de la fuerza de presfuerzo con respecto al eje neutro de la sección, por lo que cuanto mayor es la excentricidad, menor es la fuerza de presfuerzo requerida.

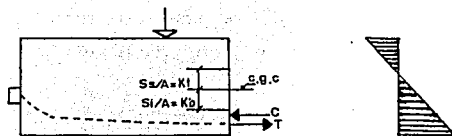
#### Secciones críticas en la transferencia

Las secciones críticas bajo carga de servicio ocurren en las posiciones de momento máximo de servicio, sus ubicaciones en la transferencia dependen de la trayectoria del cable, la que a su vez depende del método de presfuerzo.

En postensado con trayectoria del cable curva, las secciones críticas en la transferencia son generalmente las mismas que las de condiciones bajo carga de servicio.

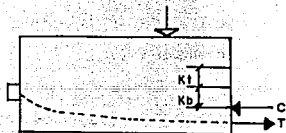
Para el pretensado en donde se usan tendones rectos



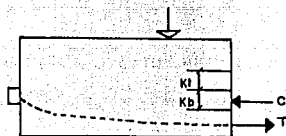


c.g.c. = centro de gravedad del concreto

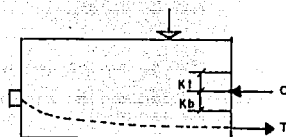
(a) C ABAJO DEL PUNTO INFERIOR DEL NUCLEO



(b) C EN LA BASE DEL NUCLEO



(c) C DENTRO DEL NUCLEO



(d) EN EL C.G.C.

FIGURA 2.4

Configuraciones de esfuerzos que se presentan en una viga de sección rectangular con fuerza en los límites del nucleo central.

rectos totalmente adheridos, las secciones críticas en la -  
 transferencia ocurren cerca de los extremos del elemento, -  
 así como en los extremos de las zonas de transmisión.

#### Criterios de diseño

Estos criterios consisten en limitar los valores de -  
 los esfuerzos en el concreto presforzado para condiciones -  
 específicas de cargas, tales condiciones son:

- 1) Cuando sólo existe el peso propio de la viga, inmedia-  
 tamente después de la aplicación del presfuerzo. Esta  
 es la condición inicial o transferencia.
- 2) Y cuando la viga soporta cargas de servicio después -  
 de que han ocurrido algunas de las pérdidas. Estas -  
 cargas pueden ser las muertas y vivas sobrepuestas.


#### Esfuerzos Permisibles en el concreto

Para elementos de un sólo claro libremente apoyados -  
 sujetos a flexión debido a las cargas aplicadas y de acuerdo  
 a los criterios de diseño descritos.

- 1.- Transferencia (inicial), estado descargado.


Los esfuerzos inmediatos a la transferencia del pres-

fuerzo (antes de las pérdidas últimas de presfuerzo) - no excederán los valores siguientes:

Tensión   $f_s \leq f_{ti} \Rightarrow \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e}{S_s} + \frac{M_o}{S_s} \leq (0.8 \text{ a } 1.6) \sqrt{f'c}$

Compresión  $f_i \leq f_{ci} \Rightarrow \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{S_i} - \frac{M_o}{S_i} \leq 0.6 f'c$

2.- Después de la transferencia, estado cargado. Cuando se tienen las cargas de servicio, los esfuerzos (después de permitir todas las pérdidas del presfuerzo) - no excederán los siguientes valores:

Compresión   $f_s \leq f_{cs} \Rightarrow \frac{P_e}{A} - \frac{P_e \cdot e}{S_s} + \frac{M_L}{S_s} \leq 0.45 f'c$

Tensión  $f_i \leq f_{ts} \Rightarrow \frac{P_e}{A} + \frac{P_e \cdot e}{S_i} - \frac{M_L}{S_i} \leq 1.6 \sqrt{f'c}$

#### Esfuerzos permisibles en el Acero de Presfuerzo

1.- Esfuerzo temporal debido a la fuerza del gato sobre el tendón, no mayor que el valor máximo recomendado por el fabricante de los tendones o anclajes de presfuerzo.

$$f_{pj} = 0.80 f_{pu}$$

- 2.- Inmediatamente después de la transferencia en tendones pretensados o postensados posteriores al anclaje del tendón.

$$f_{pi} = 0.70 f_{pu}$$

- 3.- Esfuerzo bajo la carga de servicio, después de las pérdidas

$$f_{pe} = 0.80 f_{pi}$$

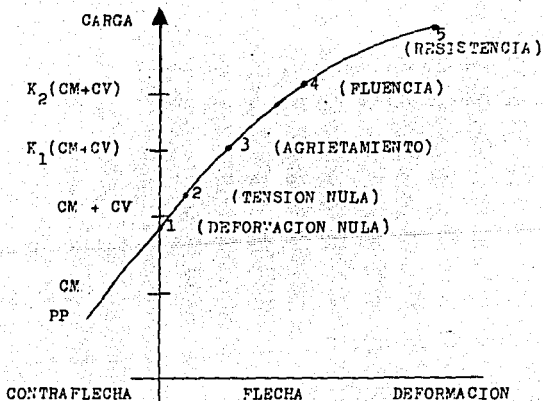
#### Comportamiento de las vigas de concreto presforzado

Una viga de concreto con presfuerzo excéntrico tiene una curva carga-deformación como la presentada en la figura 2.5 La curva tiene un tramo recto que indica un comportamiento lineal que inicia en la región de deformaciones negativas, hacia arriba (contraflechas), que no se contrae totalmente por el peso propio y algún porcentaje de la carga total.

El punto 1 de la curva representa la condición de deformación nula, en que las deformaciones por las cargas exteriores quedan equilibradas por las producidas por el presfuerzo.

El punto 2 de la curva resulta cuando en la fibra inferior de la viga los esfuerzos de tensión son nulos.

FIGURA 2.5



$A_s$  = Área del acero de refuerzo  
 P.P. = Peso Propio  
 C.M. = Carga Muerta  
 C.V. = Carga Viva  
 $K_1$  y  $K_2$  = Constantes

$f_t$  = Módulo de rotura a tensión del concreto  
 $f_u$  = Esfuerzo último del acero  
 $f_y$  = Esfuerzo de fluencia

Los diagramas de los puntos 2 y 3 representan variaciones de esfuerzos, los de los puntos 4 y 5 muestran las fuerzas del par interno.

Al incrementar la carga se llega al punto 3 que se presenta cuando los esfuerzos de tensión en la fibra inferior de la sección crítica coinciden con el módulo de rotura del concreto, es el punto inicial del agrietamiento, sobrepasada la carga de agrietamiento, las deformaciones dejan de ser proporcionales a las cargas y la curva carga - deformación exhibe un quiebre marcado.

El punto 4 corresponde a la carga que hace al acero alcanzar su esfuerzo de fluencia.

El punto 5 representa la resistencia de la sección, -- es decir, su capacidad máxima a flexión.

Idealmente, el diseño de elementos de concreto reforzado debe basarse en el conocimiento de la curva completa carga - deformación; si se puede predecir esta curva, el proyectista está en condiciones de dimensionar la viga de manera que cuente con un grado de seguridad a la ruptura y que tenga un comportamiento adecuado bajo las cargas de servicio.

### Momento de Agrietamiento

Es el momento necesario para evitar la compresión previa debida a la fuerza del presfuerzo y a la aplicación de un esfuerzo de tensión igual al módulo de ruptura. Este momento se calcula igualando el esfuerzo de la superficie inferior (en el caso de una flexión negativa), al módulo de ruptura, representado por  $f_r$ :

$$f_i = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e \cdot e}{S_i} - \frac{M_{cr}}{S_i} = f_r$$

Para  $M_{cr}$  tenemos:

$$M_{cr} = P_e \cdot e + \frac{P_e \cdot S_i}{A} + f_r \cdot S_i$$

El valor del módulo de ruptura para el concreto de peso normal se calcula con:

$$f_r = 1.989 \sqrt{f'c}$$

La relación del momento resistente de diseño, con el momento de agrietamiento debe ser de 1.20 para permitir un 20% de capacidad de sobrecarga sobre la carga de agrietamiento.

$$M_R = \phi M_n, \quad \frac{M_R}{M_{cr}} \geq 1.20$$

El factor de seguridad contra el agrietamiento, re -  
presentado por  $F_{cr}$ , de acuerdo al momento por carga viva es:

$$F_{cr} = \frac{M_{cr} - M_o - M_{cMadic}}{M_{cv}}$$

#### Tipo de falla

La falla en una sección de una viga puede empezar en el acero o en el concreto y puede terminar en uno u otro. -  
El caso más general es el de una viga de sección subreforzada en donde la falla empieza con el alargamiento excesivo -- del acero y termina con el aplastamiento del concreto.

Esta falla ocurre tanto en vigas de concreto presforzado como reforzado por el poco acero concedido. La falla - sobrereforzada se presenta cuando el concreto se quiebra antes de que el acero se esfuerce hasta el límite plástico, es ta falla es poco común. Otro tipo de falla es el de una sección ligeramente reforzada, la falla ocurre por la ruptura - del acero después del agrietamiento del concreto.

La transición en el presfuerzo de una viga sobrereforzada a una viga subreforzada se da gradualmente a medida que se varía el porcentaje de acero.

El refuerzo normal fluctúa entre el 0.3% y el 0.8%, -



no se puede tener una relación mayor al 1% porque tendrá lugar la ruptura del concreto, sin un alargamiento sustancial del acero.

**Vigas subreforzadas**  
(adheridas)

Para el diseño práctico es suficiente suponer al acero esforzado a su resistencia última en la ruptura. El cálculo del momento resistente se puede realizar con la siguiente fórmula:

$$M_n = T(d - a/2) = A_p f_{pu} (d - a/2)$$

tomando el porcentaje de acero de presfuerzo expresamos la fórmula anterior como:

$$M_n = A_p f_{pu} d \left(1 - \frac{P_p f_{pu}}{1.7 f'_c}\right)$$

Estas fórmulas aplican en vigas con secciones rectangulares o secciones con patín, como las vigas T en las que la profundidad del bloque de esfuerzos a compresión, es menor o igual que el espesor del patín ( $a \leq h_f$ ).

Para secciones con patín en donde ( $a > h_f$ ), se divide el área total del acero en dos partes:

$A_{pf}$  (porción de acero para la resistencia a compresión del patín)

$A_{pw}$  (porción del acero para el alma)

$$\text{donde: } A_{pf} = 0.85 \frac{f'_c}{f_{ps}} (b - b_1) h_f$$

$$A_{pw} = A_p - A_{pf}$$

Para el alma rectangular a compresión tenemos:

$$a = \frac{A_{pw} \cdot f_{ps}}{0.85 f'_c \cdot b_1}$$

Para el momento nominal:

$$M_n = A_{pw} \cdot f_{ps} \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_{pf} \cdot F_{ps} \left( d - \frac{hf}{2} \right)$$

Vigas sobrerreforzadas

(adheridas)

Aquí la falla a compresión tendrá lugar en el concreto antes que se desarrolle en el acero la resistencia a la ruptura. El cálculo del momento resistente para secciones rectangulares o con patín en las que:

( $a \leq h_f$ ), en la relación  $P_p f_{ps} / f'c = P_p f_{pu} / f'c = 0.30$

se calcula con:

$$M_n = A_p f_{ps} d \left( 1 - \frac{P_p f_{ps}}{1.7 f'c} \right)$$

Para secciones con patín en donde ( $a > h_f$ ), se utiliza la fórmula:

$$M_n = 0.25 f'c b_1 d^2 + 0.85 f'c (b - b_1) h_f \frac{(d - h_f)}{2}$$

A pesar de que en las vigas presforzadas no hay un límite definido para saber si fallan a tensión o a compresión (vigas subreforzadas o sobrerreforzadas) pruebas realizadas indican los siguientes parámetros como límites:

Para secciones rectangulares a compresión:

$$\frac{A_p f_{ps}}{b d f'c} \leq 0.30, \text{ subreforzada}$$

$$\frac{A_p f_{ps}}{b d f'c} > 0.30, \text{ sobrerreforzada}$$

Para secciones con patín:

$$\frac{A_{pw} f_{ps}}{b_1 d f'c} \leq 0.30, \text{ subreforzada}$$

$$\frac{A_{pw} f_{ps}}{b_1 d f'c} > 0.30, \text{ sobrerreforzada}$$

Para verificar la capacidad de sobrecarga de los elementos de concreto presforzado se indican las siguientes ecuaciones:

$$M_u = 1.4 M_d + 1.7 M_L \text{ Para } \phi M_n \geq M_u$$

$$V_u = 1.4 V_d + 1.7 V_L \text{ Para } \phi V_n \geq V_u \quad \phi = 0.85$$

#### Método de Compatibilidad de la deformación para determinar $f_{ps}$

Se utiliza sólo en vigas con tendones adheridos, toma en cuenta la relación entre el esfuerzo del acero y las deformaciones que sufre la sección de una viga debido al presfuerzo y las cargas últimas o totales. El esfuerzo del acero  $f_{ps}$  se determina por aproximaciones sucesivas o por tanteos de acuerdo con las distribuciones de las deformaciones. De acuerdo a la figura 2.6 dividiremos las deformaciones de una viga en 3 etapas.

Etapa 1: La deformación en el acero ocurre sólo por el presfuerzo, el concreto no sufre deformación en su fibra superior, por lo que:

$$\epsilon_1 = \epsilon_{pe} = \frac{f_{pe}}{E_p}$$

Etapa 2: Corresponde a un estado de descompresión o de esfuerzo nulo en el concreto que se encuentra en el centroide del acero, la ecuación se expresa como:

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E_c} \left( \frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e \cdot e^2}{I} \right)$$

Etapa 3: Ocurre cuando la sección de la viga llega a la carga última, la correspondencia entre el concreto y el acero se da por medio de:

$$\epsilon_3 = \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon_{cu}$$

El eje neutro, bajo la carga última se sitúa a la distancia  $c$ , expresado por:

$$c = \frac{a}{\beta_1}, \text{ donde } \beta_1 = 1.05 - f'c / 1400$$

con un rango de  $0.85 \geq \beta_1 \geq 0.65$

La deformación total del acero se calcula como:

$$\epsilon_{st} = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$$

El esfuerzo  $f_{ps}$  que corresponde a la deformación. Ést se obtiene de las curvas esfuerzo-deformación de acuerdo al acero de alta resistencia utilizado. La figura 2.7 muestra curvas representativas para aceros de calidades 250 k y 270-k.

$f_{ps}$  puede cumplir con las siguientes características:

si  $f_{ps} = f_{pu}$  el acero fluye y la sección se toma como subreforzada.

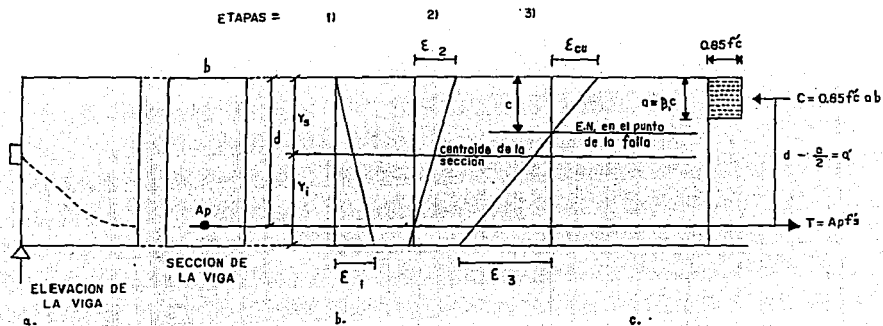
si  $f_{ps}$  tiene un valor próximo a  $f_{pu}$  la sección es sobrerreforzada.

Por último el valor propuesto no es el correcto cuando  $f_{ps}$  es menor a  $f_{pu}$ .

Las expresiones siguientes se basan en las deformaciones y porcentaje de acero para indicarnos el tipo de falla en cualquier sección propuesta.

$$\epsilon_1 + \epsilon_3 \geq 0.01 \quad \text{sección subreforzada.}$$

$$\epsilon_1 + \epsilon_3 < 0.01 \quad \text{sección sobrerreforzada}$$



- a Sección de la viga  
 b Deformaciones en el concreto y acero  
 c Fuerzas internas

Figure 2.6  
 Deformaciones, esfuerzos, y fuerzas en una viga de concreto reforzado

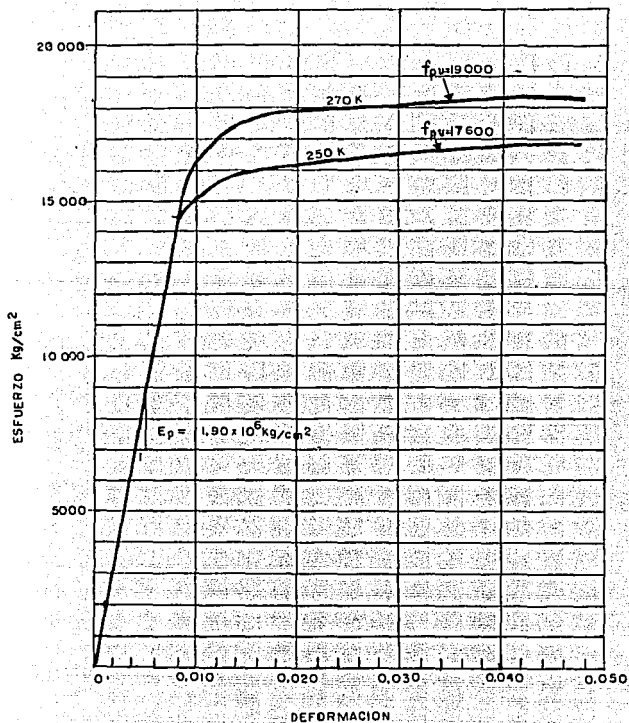


Fig. 2.7 Curvas características de esfuerzo-deformación, para aceros de presfuerzo de 250 K y 270 K.



### Módulo de Elasticidad del Acero

Para alambres y varillas

de refuerzo -----  $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$

Para cable de presfuerzo

de 7 alambres de 19,000

$\text{Kg./cm}^2$  -----  $E_p = 1.97 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$

Para cables de 7 alambres

de 17,500 a 18,000  $\text{Kg/cm}^2$  ---  $E_p = 1.90 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$

### Cortante

La resistencia de las vigas de concreto presforzado al cortante no se predice con exactitud, aunque tienen una gran capacidad de resistencia al corte. En general el esfuerzo cortante se puede presentar de las siguientes maneras:

- Viga presforzada con un tendón recto en dirección perpendicular al corte, por lo que el esfuerzo cortante  $V_n$  en la sección será soportado por el concreto.
- Viga presforzada con sus ejes inclinados pero tendón recto, puede suceder: a) si el corte es vertical con-

respecto al tendón, la viga no soportará el esfuerzo cortante b) si la dirección del corte no es perpendicular al tendón, entonces el tendón ayudará a soportar al esfuerzo cortante.

El diseño de las vigas sometidas a cortante se basa en la expresión:  $V_u \leq \phi V_n$ ,  $\phi = 0.85$

$$V_n = V_c + V_s \quad (\text{con acero en el alma})$$

$$V_n = V_c \quad (\text{sin acero en el alma})$$

cuando  $f_{pe} \geq 0.40 f_{pu}$ , se usa la ecuación:

$$V_c = \left( 0.159 \sqrt{f'c} + 49.2 \frac{V_{ud}}{Mu} \right) b_1 d$$

donde:  $\frac{V_{ud}}{Mu} \leq 1$ ,  $d = 0.80 h$ ,

$$0.53 \sqrt{f'c} b_1 d \leq V_c \leq 1.33 \sqrt{f'c} b_1 d.$$

El ACI considera

$$V_u = 1.4 V_d + 1.7 V_L$$

$$W_u = 1.4 W_d + 1.7 W_L$$

Para el acero del alma la contribución del acero (es-

tribos) al cortante se proporciona por:

$$v_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

donde:  $v_s \leq 2.12 \sqrt{f'c} b_1 d$

La separación de los estribos se obtiene por:

$$s = \frac{\phi A_v f_y d}{V_u - \phi V_c}$$

Para los casos donde no sea necesario acero por cortante, se proporcionará una cantidad mínima de acero y se supondrá un diámetro de varilla, cuya separación se calculará por:

$$s_{\text{máx}} = \frac{A_v f_y}{3.52 b_1}$$

Si  $f_{pe} \geq 0.40 f_{pu}$ , entonces:

$$s_{\text{máx}} = \frac{80 A_v f_y d}{A_p f_{pu}} \sqrt{\frac{b_1}{d}}$$

Para cualquier agrietamiento diagonal se utilizará -- una cantidad mínima de acero en el alma:

$$s_{\text{máx}} = \frac{3h}{4}, \text{ cuando } v_s \leq 1.06 \sqrt{f'c} b_1 d$$

$$S_{máx} = \frac{3h}{8}, \text{ cuando } V_s > 1.06 \sqrt{f'c} b_1 d$$

como límite superior

$$S_{máx} = 60 \text{ cm.}$$

Se admite como no necesario acero por cortante cuando

$$V_u \leq \phi V_c / 2$$

#### Sección compuesta

Es cuando una viga se constituye en dos secciones, una correspondiente a la parte prefabricada y otra colada en sitio sobre ésta; formando por lo común, una losa compuesta. - El diseño de las secciones compuestas es más complicado aunque tiene una similitud básica para con las secciones no compuestas.

#### Cortante Horizontal

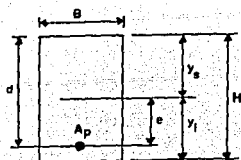
Es el producido horizontalmente en una viga compuesta entre la superficie superior de la viga y la superficie inferior de la losa colada en obra.

La adhesión y fricción naturales proporciona cierta resistencia en la superficie de interfase. Para vigas con  $a_m$

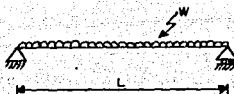
plias superficies de contacto, esto resulta suficiente para transferir las fuerzas horizontales de contacto. Para vigas con una menor superficie de contacto, se pueden extender los amarres verticales, como los usados en el refuerzo del alma, de modo que se proporcionen estribos para el cortante. De otra forma se calculará y limitará el esfuerzo último del cortante horizontal.

#### Ejemplos Numéricos

Los siguientes dos ejemplos que a continuación se expresan de las vigas prefabricadas son desarrollados como secciones simples. En el primer ejemplo se calculan los esfuerzos, momento resistente y cortante de una viga, en el segundo diseño se calculan los esfuerzos, el momento y se estiman las deformaciones en la viga.



VIGA SIMPLEMENTE APOYADA



$$M_{\text{máx}} = M_c = \frac{wL^2}{8}$$

Datos sección propuesta

$$B = 30 \text{ cm}$$

$$y_s = 30 \text{ cm}$$

$$I = 540,000 \text{ cm}^4$$

$$S_s = I/y_s = 18,000 \text{ cm}^3$$

$$H = 60 \text{ cm}$$

$$y_i = 30 \text{ cm}$$

$$S_i = I/y_i = 18,000 \text{ cm}^3$$

$$d = 50 \text{ cm}$$

$$A_c = (60)(30) = 1,800 \text{ cm}^2$$

$$e = 20 \text{ cm}$$

$$A_p = 8 \text{ cm}^2$$

$$L = 10 \text{ m.}$$

Propiedades de los materiales

$$f'_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'_{ci} = 0.8 f'_c = (0.80)(350) = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{pu} = 17,600 \text{ Kg/cm}^2 (250 \text{ K})$$

$$f_{pi} = 0.7 (17,600) = 12,320 \text{ Kg/cm}^2$$

$$*f_{pe} = 0.82(12,320) = 10,102 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_p = 1.9 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 285,000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 2,400 \text{ Kg/m}^3$$

$$F_y = 2,800 \text{ Kg/cm}^2$$

NOTA: \*Se suponen pérdidas del 18% en el presfuerzo de un -  
concreto de peso normal.

## Cargas

Se dispondrá sólo del peso propio de la viga y la carga viva

$W_o$  = Peso propio de la viga

$$W_o = A_c \cdot \gamma_c = (0.18 \text{ m}^2) (2400 \text{ kg/m}^3) = 432 \text{ Kg/m}$$

$$W_{cv} = 1900 \text{ Kg/m}$$

## Momentos en el Centro del Claro

Para la Sección Crítica

$$M_o \text{ (Peso propio)} = \frac{W_o L^2}{8} = \frac{(432)(10)^2}{8}$$

$$M_o = 5400 \text{ Kg-m} = 540,000 \text{ Kg-cm}$$

$$M_{cv} \text{ (carga viva)} = \frac{W_{cv} L^2}{8} = \frac{(1900)(10)^2}{8}$$

$$M_{cv} = 23,750 \text{ Kg-m} = 2,375,000 \text{ Kg - cm}$$

$$M_T \text{ (Momento Total)} = M_o + M_{cv}$$

$$M_T = 2,915,000 \text{ Kg - cm}$$

## Fuerza en los cables de presfuerzo

$$P_i = f_{pi} \cdot A_p = (12,320)(8) = 98,560 \text{ Kg.}$$

$$P_e = f_{pe} \cdot A_p = (10,102)(8) = 80,816 \text{ Kg.}$$

## Esfuerzos

1.- Esfuerzos (Estado Descargado) de la viga en el centro --  
del claro en la transferencia.

$$f_s = \frac{98,560}{1,800} - \frac{(98,560)(20)}{18,000} + \frac{540,000}{18,000}$$

$$f_s = 54,75 - 109,51 + 30$$

$$f_s = -24,76 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{98,560}{1,800} + \frac{(98,560)(20)}{18,000} - \frac{540,000}{18,000}$$

$$f_i = 54,75 + 109,51 - 30$$

$$f_i = 134,26 \text{ Kg/cm}^2$$

Contra los siguientes esfuerzos admisibles para vigas  
simplemente apoyadas.

$$f_{ti} \text{ (tensión)} = 1,6 \sqrt{f'_{ci}} = 1,6 \sqrt{280} = - 26,77 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{ci} \text{ (compresión)} = 0,60 f'_{ci} = (0,60)(280) = 168 \text{ Kg/cm}^2$$

Los esfuerzos calculados en la transferencia son sa -



78 WEST AIRS  
78 0119

tisfactorios.

2.- Esfuerzos (Estado cargado) de la viga en el centro del -  
claro después de las pérdidas de presfuerzo.

$$f_s = \frac{80,816}{1800} - \frac{(80,816)(20)}{18,000} + \frac{2,915,000}{18,000}$$

$$f_s = 44.89 - 89.79 + 161.94$$

$$f_s = 117.04 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{80,816}{1800} + \frac{(80,816)(20)}{18,000} - \frac{2,915,000}{18,000}$$

$$f_i = 44.89 + 89.79 - 161.94$$

$$f_i = -27.26 \text{ Kg/cm}^2$$

Contra los siguientes esfuerzos admisibles:

$$f_{cs} \text{ (compresión)} = 0.45 f'c = (0.45)(350) = 157.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{ts} \text{ (tensión)} = 1.6 \sqrt{f'c} = 1.6 \sqrt{350} = -30.00 \text{ Kg/cm}^2$$

Los esfuerzos calculados después de las pérdidas son-  
satisfactorios.

Momento Resistente

No se proporciona un fps por lo que:

$$fps = fpu$$

Para una sección rectangular tenemos:

$$\frac{A_p \cdot fps}{b \cdot d \cdot f'c} = \frac{(8)(17,600)}{(30)(50)(350)} = 0.268$$

0.268 < 0.30 se toma como sección subreforzada

$$C = T = A_p \cdot fps$$

$$T = (8)(17,600) = 140,800 \text{ kg.}$$

$$a = \frac{T}{0.85 f'c b}$$

$$a = \frac{140,800}{(0.85)(350)(30)} = 15.78 \text{ cm}$$

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 140,800 \left( 50 - \frac{15.78}{2} \right)$$

$$M_n = 5,929,088 \text{ Kg. - cm}$$

$$M_R = 0.9 M_n = (0.90)(5,929,088)$$

$$M_R = 5,336,179 \text{ kg.- cm} = 53.36 \text{ Ton-m.}$$

## Momento último de diseño

$$M_v = 1.4 M_o + 1.7 M_{cv}$$

$$M_v = 1.4 (540,000) + 1.7 (2375,000)$$

$$M_v = 4,793,500 \text{ Kg.-cm} = 47.93 \text{ Ton-m.}$$

$$M_R \geq M_v$$

$$53.35 > 47.93 \text{ Ton-m}$$

## Cortante

El cortante tiene su punto crítico en los extremos del claro, generalmente por el cuarto del claro, por lo que se comprobará el cortante de la viga tomando algunos valores en este rango.

TABLA PARA CALCULO DEL CORTANTE

Rango (lado der)	$V_1$ (kg)	$M_1$ (kg-m)	$V_1/M_1$	$V_c$ (kg) Ecuación	$V_c$ (kg) usar	$M_c$ (kg)	$\frac{\partial V_c}{\partial x}$
$x = 0.1L=1m$	15,340	17,257	0.444	35,740	35,740	30,379	15,189
$x = 0.2L=2m$	11,505	30,680	0.187	17,532	17,532	14,902	7,451
$x = 0.3L=3m$	7,670	40,267	0.095	11,028	14,278	12,136	6,068

Tomemos  $X = 0.1L = 1$  m como ejemplo para visualizar los valores de esta tabla.

$$W_u = 1.4 W_d + 1.7 W_L = 1.4(432) + 1.7(1900)$$

$$W_u = 3835 \text{ Kg/m}$$

$$V_u = \frac{W \cdot L}{2} - W_u X = \frac{(3835)(10)}{2} - (3835)(1)$$

$$V_u = 15,340 \text{ Kg}$$

$$M_u = \frac{W_o L X}{2} - \frac{W_o X^2}{2} = \frac{3835(10)(1)}{2} - \frac{(3835)(1)^2}{2}$$

$$M_u = 17,257 \text{ Kg-m}$$

$$\frac{V_{ud}}{M_u} = \frac{(15,340)(150)}{(17,257)(100)} = 0.444$$

Sabemos que se utiliza

$$V_c = \left( 0.159 \sqrt{f'c} + 49.2 \frac{V_{ud}}{W_u} \right) b_1 d$$

Porque:

$$f_{pe} = 10,102 \text{ Kg/cm}^2 \geq 0.40 f_{pu} = (0.4)(17,600) = 7,040 \text{ Kg/cm}^2$$

$$d = 0.8h = (0.8)(0.6) = 48 \text{ cm}$$

$$V_c = \left( 0.159 \sqrt{350} + 49.2(0.444) \right) (30)(48)$$

$$V_c = 35,740 \text{ Kg}$$

El rango de  $V_c$  a utilizar se da por:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} \quad b_1 d = 0.53 \sqrt{350} \quad (30)(48)$$

límite inf.  $V_c = 14,278 \text{ kg}$ .

$$V_c = 1.33 \sqrt{f'c} b_1 d = 1.33 \sqrt{350} \quad (30)(48)$$

límite sup,  $V_c = 35,830 \text{ kg}$

Por lo que se toma  $V_c = 35,740 \text{ Kg}$

$$\phi V_c = (0.85) (35,740) = 30,379 \text{ Kg.}$$

$$\phi \frac{V_c}{2} = \frac{30,379}{2} = 15,189 \text{ Kg.}$$

Comparando el cortante de diseño y el cortante nominal  
o resistencia tenemos:

$$V_u = 15,340 \text{ Kg} \leq \phi V_n = \phi V_c = 30,379 \text{ kg.}$$

sin acero en el alma, pero por:

$$V_u = 15,340 \text{ Kg} > \phi \frac{V_c}{2} = 15,189 \text{ kg.}$$

Requiere acero mínimo en el alma.

$$\text{Usando estribos } \phi = 3/8, A_v = 2 (0.71) = 1.42 \text{ cm}^2$$

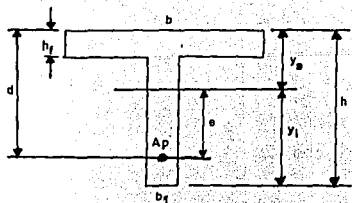
$$f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{A_v f_y}{3.52 b_1} = \frac{(1.42) (2,800)}{3.52 (30)} = 37.65 \text{ cm.}$$

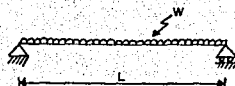
$$S_{\text{máx}} = 3h/4 = \frac{3(60)}{4} = 45 \text{ cm}$$

$$S_{\text{máx}} = 3h/8 = \frac{3(60)}{8} = 22 \text{ cm.}$$

Podemos usar estribos # 3 con una separación de 37  
cm. pero para mayor seguridad se toma a  $S=22 \text{ cm.} \approx 20 \text{ cm.}$



VIGA SIMPLEMENTE APOYADA



$$M_{\max} = M_c = \frac{wL^2}{8}$$

## Sección Propuesta

$$\begin{aligned} b &= 300 \text{ cm} & d &= 54 \text{ cm} \\ b_1 &= 45 \text{ cm} & e &= 32.82 \text{ cm} \\ h &= 60 \text{ cm.} & L &= 18 \text{ m} \\ h_f &= 5 \text{ cm.} & A_p &= 14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

## Propiedades de los materiales

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

$$f'ci = 0.8 f'ci = (0.80) (35) = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{pu} = 19,000 \text{ Kg/cm}^2 \quad (270k)$$

$$f_{pi} = 0.70 f_{pu} = 13,300 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{pe} = 0.80 f_{pi} = 10,640 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_p = 1.9 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 285,000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 2400 \text{ Kg/m}^3$$

## Propiedades de la sección

$$A_c = b \cdot h_f + b_w (h - h_f)$$

$$A_c = (300) (5) + (45) (60-5)$$

$$A_c = 3975 \text{ cm}^2$$

$$Y_i = \frac{(1500) (57.5) + (2475) (27.5)}{3975}$$

$$Y_i = 38.82 \text{ cm}$$

$$Y_s = h - Y_i = 60 - 38.82$$

$$Y_s = 21.18 \text{ cm.}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} + A d^2$$

$$I = \frac{(300) (5)^3}{12} + (1500) (18.68)^2 + \frac{(45) (55)^3}{12} + (2475) (11.32)^2$$

$$I = 1467597.3 \text{ cm}^4$$

$$S = I/y$$

$$S_s = I/y_s = \frac{1467597.3}{21.18} = 69292 \text{ cm}^3$$

$$S_i = I/y_i = \frac{1467597.3}{38.82} = 37805 \text{ cm}^3$$

Cargas

Se dispondrá del peso propio de la viga y la carga viva

$$W_o = (0.3975 \text{ M}^2) (2400 \text{ Kg/m}^3) = 954 \text{ Kg/m}$$

$$W_{CV} = (250 \text{ Kg/m}^2) (3.00 \text{ m}) = 750 \text{ Kg/m}$$

Momentos

para la sección crítica  $\zeta$

$$M_o = \frac{(954) (18)^2}{8} = 38,637 \text{ Kg - m}$$

$$M_o = 3863,700 \text{ Kg - cm}$$

$$M_{CV} = \frac{(750) (18)^2}{8} = 30,375 \text{ kg-m}$$

$$M_{CV} = 3,037,500 \text{ Kg-cm}$$

$$M_T = M_o + M_{CV}$$

$$M_T = 6,901,200 \text{ Kg - cm.}$$

Fuerza en los cables de presfuerzo

$$P_i = f_{pi} A_p = (13,300) (14) = 186,200 \text{ Kg}$$

$$P_e = f_{pe} A_p = (10,640) (14) = 148,960 \text{ Kg}$$

Esfuerzos

1.- Esfuerzos (Estado descargado) de la viga en la transferencia ( $\zeta$ )



$$f_s = \frac{186,200}{3,975} - \frac{(186,200)(32,82)}{69,292} + \frac{3863,700}{69,292}$$

$$f_s = 46.84 - 88.193 + 55.76$$

$$f_s = 14.41 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{186,200}{3,975} - \frac{(186,200)(32,82)}{37,805} - \frac{3863,700}{37,805}$$

$$f_i = 46.84 + 161.65 - 102.20$$

$$f_i = 106.28 \text{ kg/cm}^2$$

Contra los esfuerzos admisibles (transferencia) obtenidos en el ejemplo anterior.

$$F_{ti} \text{ (tensión)} = - 26.77 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{ci} \text{ (compresión)} = 168 \text{ Kg/cm}^2$$

Estos esfuerzos calculados en la transferencia del presfuerzo cumplen con los esfuerzos admisibles.

2.- Esfuerzos (Estado cargado) de la viga (  $\zeta$  ) después de las pérdidas de presfuerzo.

$$f_s = \frac{148,960}{3975} - \frac{(148,960)(32.82)}{69,292} + \frac{6901,200}{69,292}$$

$$f_s = 37.47 - 70.55 + 99.59$$

$$f_s = 66.51 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{148,960}{3975} + \frac{(148,960)(32.82)}{37805} - \frac{6901,200}{37805}$$

$$f_i = 37.47 + 129.32 - 182.55$$

$$f_i = -15.76 \text{ Kg/cm}^2$$

Contra los esfuerzos admisibles (después de las pérdidas de -  
presfuerzo) obtenidos en el ejemplo anterior.

$$f_{cs} \text{ (compresión)} = 157.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{ts} \text{ (tensión)} = -30.00 \text{ kg/cm}^2$$

Los esfuerzos calculados después de las pérdidas son satisfac-  
torios.

Momento resistente

$$a = \frac{T}{0.85 f'_{cb}}$$

$$T = A_p \cdot F_{pu} = (14) (19,000) = 266,000 \text{ Kg.}$$

$$a = \frac{266,00}{(0.85)(350)(300)} = 3 \text{ cm.} < 5 \text{ cm.}$$

$a < h_f$  por lo que se toma como sección rectangular y aplica:

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 266,000 \left( 54 - \frac{3}{2} \right)$$

$$M_n = 13965000 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_R = 0.9 M_n = (0.9) (13965000)$$

$$M_R = 12568500 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = 125.68 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Momento último de diseño

$$M_u = 1.4 M_o + 1.7 M_{Cv}$$

$$M_u = 1.4 (3863700) + 1.7 (3037500)$$

$$M_u = 10572930 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = 105.73 \text{ Ton} \cdot \text{m.}$$

$$M_u = 105.73 < 125.68 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Fluencia del Acero

Para saber la deformación que sufre el acero, por medio de las siguientes expresiones y de la figura 2.70 se obtienen tales deformaciones.

$$\text{Para } \epsilon_1 = \frac{F_{ve}}{E_p} \text{ y } \epsilon_3 = \frac{d-c}{c} \epsilon_{cu}$$

$$\epsilon_1 = \frac{10,640}{1.9 \times 10^6} = 5.6 \times 10^{-3}$$

$$c = \frac{a}{\beta} \quad \beta_1 = 1.05 - \frac{(350)}{1400}$$

$$\beta_1 = 0.8$$

$$c = \frac{3}{0.8}$$

$$c = 3.75 \text{ cm.}$$

$$\epsilon_3 = \frac{(54 - 3.75)}{3.75} = (0.003)$$

$$\epsilon_3 = 0.0402$$

$$\epsilon_1 + \epsilon_3 = 5.6 \times 10^{-3} + 0.0402 = 0.0458$$

0.0458 > 0.01 Sección

Subreforzada

## III

## Procesos Fabriles de vigas prefabricadas

La prefabricación es un método industrial de construcción en donde las vigas se fabrican en grandes series.

La construcción en general, se realiza en dos etapas:

Proceso de construcción en fábrica y montaje de las vigas en obra. Algunos tipos de vigas se pueden fabricar a pie de obra, en donde el número no es abundante y se tiene la ventaja de hacerlas de un tamaño mayor al usual, ya que no se toma en cuenta las dificultades de transporte. La producción en fábrica, por el contrario, produce grandes series limitando a los elementos de amplias dimensiones y peso a las posibilidades de su transporte.

La fabricación se hace en moldes fijos o bien en bancadas de tensado, en donde los cables son estirados y anclados automáticamente.

## Métodos de Fabricación

Se distingue:

- 1) Fabricación fija o estacionaria;
- 2) Fabricación en cadena.

## 1) Fabricación estacionaria.

Esta fabricación es en serie, en el concepto industrial. Los moldes vienen a ser los bancos de taller en que se realiza el trabajo. Entre éstos moldes por el tipo de desmoldeo o desmontaje se distinguen:

### a) Fabricación por levantamiento.

Moldes con paredes laterales separables o rebatibles, el desmoldeo es por el levantamiento de las piezas del molde.

### b) Fabricación por volcado.

Es el desmoldeo por volcado de los moldes en posición vertical.

### c) Fabricación en batería.

Los elementos se fabrican en grupos verticales en el que se desmoldea por separación sucesiva de las paredes.

## 2) Fabricación en cadena.

Rara vez se emplea para la producción de vigas y sólo se aplica a la fabricación de grandes series.

El obstáculo que se presenta es que la fabricación en

cadena exige el mismo consumo de tiempo en cada una de las -- distintas operaciones, por lo que se hace más factible una - combinación del método de fabricación en cadena con el de fabricación estacionaria o fija.

Otro método de prefabricación lo constituye la fabricación deslizante, la cual no entra en el modelo de fabricación de vigas, pero es importante mencionar. La fabricación se efectúa con ayuda de una máquina (especie de molde deslizante) que deposita el concreto por extrucción desde su tolva móvil, que al irse desplazando sobre una zona delimitada va colocando, vibrando y moldeando al concreto con el resultado final de la formación de elementos como podrán ser losetas o placas para sistemas de pisos o muros.

En resumen el método utilizado para la fabricación de vigas prefabricadas es el de fabricación estacionaria por levantamiento que se efectúa sobre mesas de colado o bancadas de tensado con longitudes de entre los 40 m. y 200 m. considerando los 100 m. como valor promedio.

Este método distingue 3 tipos de mesas de colado:

- Mesas fijas
- Mesas portátiles
- Moldes que actúan como mesas

### Mesas fijas

Existen 4 tipos:

- a) Muertos de anclaje;
- b) Muertos de anclaje piloteados
- c) Muertos de anclaje con losa
- d) Losa monolítica con muertos de anclaje

#### Muertos de Anclaje

El cuerpo del muerto de anclaje consta de dos trabes metálicas con orificios para insertar a través de ellas el cable de presfuerzo; la extensión de cada trabe es un macizo de concreto incado o ahogado a unos 3 metros de profundidad aproximadamente bajo el nivel del terreno natural. Los macizos resisten las fuerzas de presfuerzo por peso propio y están dispuestos de frente uno contra del otro, separados por una losa que sirve de base para los elementos a formar. La losa es independiente de los muertos de anclaje; debido a esta situación su utilidad sólo se acepta para terrenos estables. (figura 3.1á)

#### Muertos de anclaje piloteados

Los muertos están provistos de pilotes en la parte de sus macizos de concreto que proporcionan la estabilidad necesaria en los terrenos poco estables en donde se utiliza esta-



mesa. Su losa base es independiente de los muertos de anclaje. (figura 3.1b)

#### Muertos de anclaje con losa

En este tipo de mesa las dimensiones de los muertos - pueden disminuirse si se hace que la losa que forma la mesa - actúe como una columna con capacidad suficiente para transmitir las cargas de presfuerzo. (figura 3.1c).

#### Losa Monolítica con muertos de Anclaje

En terreno no muy estable la cama constituida por -- los muertos de anclaje y su losa actúan monolíticamente (en - conjunto) lo que ofrece la ventaja de la rigidez, reduciendo los problemas de movimientos diferenciales. (figura 3.1d)

La figura 3.1 indica por medio de dibujos las mesas - de colado anteriormente descritas.

#### Mesas portátiles

Sirven cuando las condiciones de la construcción lo - requieren, como el tener una planta provisional en obra cuando no existen plantas de prefabricación próximas y cuando el volumen de la obra es lo suficientemente grande como para disponer de elementos o vigas de una fábrica.

Entre los tipos de Mesas Portátiles, tenemos:

(Fig. 3.2)

- a) Mesas de piezas precoladas unidas por tendones;
- b) Mesas de estructuras de acero.

Mesas de piezas precoladas unidas por tendones

Estas piezas de concreto precoladas pueden ser transportadas individualmente, unidas en el lugar dispuesto con tendones recuperables, resistiendo las fuerzas de presfuerzo y al mismo tiempo proporcionando una superficie de trabajo.

Mesas de estructura de acero

Están formadas por estructuras de acero desarmables - que pueden proporcionar un buen anclaje a las fuerzas de presfuerzo.

Moldes que actúan como mesas

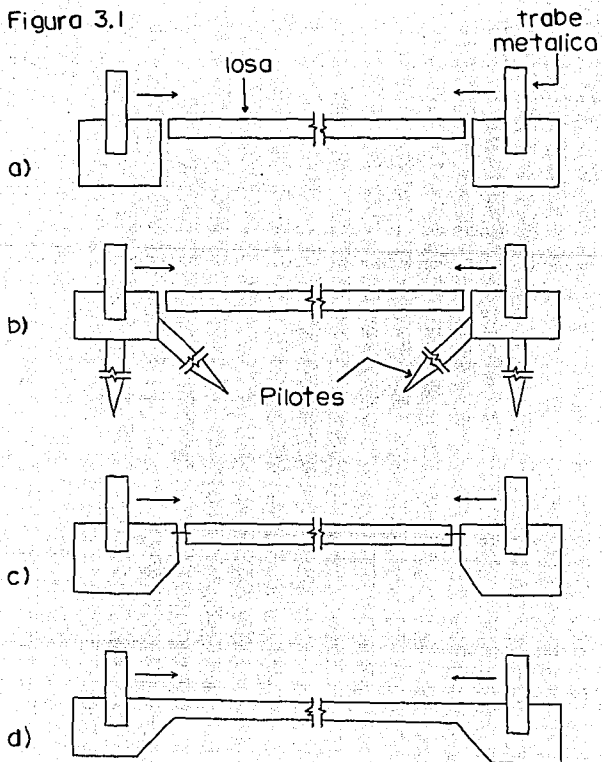
Los moldes utilizados tienen la suficiente resistencia para que las fuerzas de presfuerzo puedan anclarse contra los moldes mismos.

Existen 2 tipos comunes de moldes:

(Figura 3.3)

- a) Moldes de concreto forrado de lámina;
- b) Moldes metálicos

Figura 3.1



### Moldes de concreto forrado de lámina

Para que las vigas tengan un buen acabado, la lámina puede ser de un calibre relativamente bajo, por lo que las fuerzas de presfuerzo son resistidas por el concreto.

### Moldes Metálicos

Se hacen con la suficiente rigidez para resistir las fuerzas de presfuerzo por sí solos; tienen además la ventaja de desmontarse y transportarse de un lado a otro sin gran costo y esfuerzo debido a su ligereza.

### Elección del método de fabricación

La elección de fabricación de una viga se da por los siguientes factores:

- a) La magnitud de las series y el lugar de fabricación, (a pie de obra o en fábrica).
- b) El tamaño de la viga;
- c) La utilización de la viga (para pared, cubierta, etc.);
- d) Método presforzado: pretensado o postensado;
- e) Calidad del material.

La magnitud de las series es decisiva para las insta-

laciones a montar, por ejemplo para pequeñas series de 200 - vigas, la fabricación fija o estacionaria es adecuada. Para 2,000 vigas es posible una fabricación en cadena, aunque - siempre es necesario ensayar en cada caso particular el método más racional.

#### Fabricación

Se distinguen cuatro fases importantes:

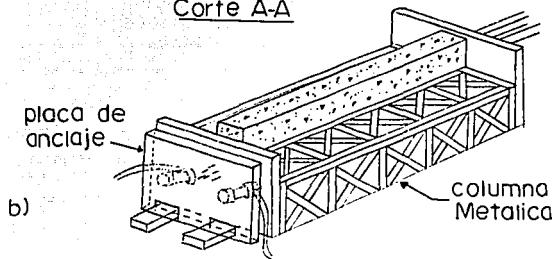
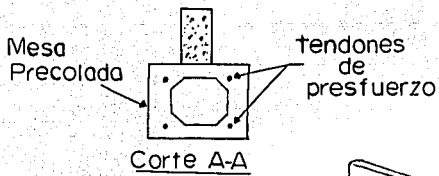
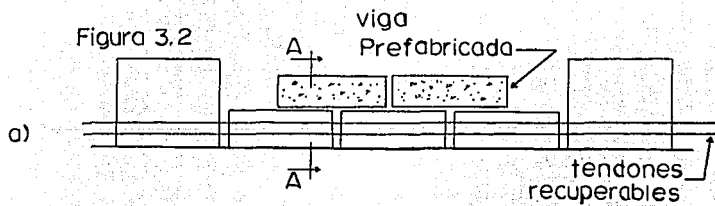
- Preparación del concreto;
- Vaciado o moldeo;
- Compactación;
- Curado.

Una viga estará constituida por acero y concreto. -- Acero de resistencia normal para la armadura y acero de presfuerzo para las cargas. La resistencia tanto del acero como - del concreto se especificará en los planos de proyecto.

El taller de armaduras para el acero comprenderá:

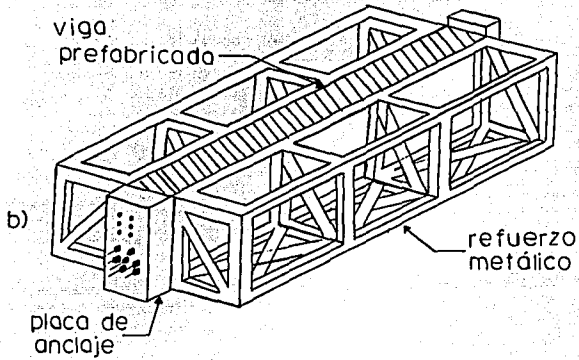
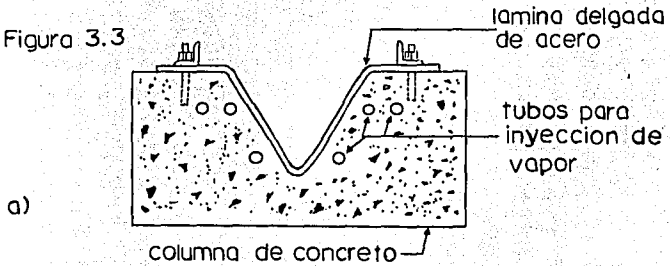
Devanaderas de rollos, enderezadoras, cillazas, má-- quinas de doblar, bancos y caballetes de montaje, máquinas - para soldar (fijas o móviles) según la complejidad o el peso de las armaduras, etc.

### Mesas Portátiles



Moldes que actúan como mesa

Figura 3.3



## Preparación del concreto

El concreto se prepara en una central automática --- transportándose mediante vagonetas o cubiletes con ayuda de grúas-puente hasta las mesas de trabajo cuando estas ocupan una posición fija.

### Vaciado

El vaciado del concreto es directo a los moldes, aun que se puede también realizar mediante dispositivos que conectan los moldes con las ollas instaladas en la central de mezclado.

### Compactación

La compactación o vibrado del concreto se realiza con vibradores de inmersión, vibradores de molde o una combinación de ambos métodos de vibrado.

### Curado

Es un método que obtiene elevadas resistencias iniciales del concreto gracias a un incremento de la temperatura en ambiente húmedo que acelera las reacciones en la pasta de cemento, facilitando el rápido desmoldeo y transporte de las vigas al lugar de almacenaje.

El curado se puede producir por medio de cámaras de -



vapor, entre las que se encuentran las de funcionamiento --  
intermitente y las de tunel de funcionamiento continuo.

#### Desarrollo del curado al vapor

El curado al vapor principia desde el tanque de almacenamiento de líquidos y caldera, pues de aquí parten redes de tubería que llevan agua a edificios en donde se produce y distribuye el vapor a llaves que dan paso a un destino final "Un molde preparado con concreto". El vapor o agua sobrecalentada de las llaves va dirigido a un arreglo de tubos preparados bajo la mesa de moldeo, a planos laterales de la mesa o a tapas superiores colocadas a modo de campanas sobre la mesa de moldeo.

El molde se cubre con una lona quedando un recinto a presión atmosférica para que el curado se realice mediante vapor a baja presión con la temperatura ambiente subiendo en -- proporción al tiempo.

Después de las 2 horas de vaciado el concreto y antes de las 5 horas (tiempo de fraguado) se cuida no rebasar los 32°C para incrementar la temperatura hasta los 60°C o 70°C a las 8 horas, obteniendo resistencias de alrededor del 80% de la resistencia a los 28 días y una resistencia al corte de --

310 Kg/cm.<sup>2</sup> En este lapso de tiempo se procede a bajar la temperatura hasta alcanzar de nuevo su estado inicial. Las gráficas temperatura- Tiempo que son utilizadas verifican la correcta ejecución del curado.

Realizado el curado, el último paso a seguir sería el desmoldeo de las vigas por medio de líquidos desencofrantes que facilitan la separación del molde con el concreto.

En resumen podemos concluir que con el curado al vapor se disminuyen el número de moldes en la fabricación de vigas, se posibilita la pronta entrega y los ciclos operativos desarrollados en el curado al vapor se dan en un lapso de tiempo corto (aproximadamente 24 horas).

#### Almacén

Es el lugar en donde las vigas permanecen por un cierto período de tiempo. La razón que hace necesario el almacén es de tipo organizativo, pues los ritmos de fabricación, transporte y montaje obligan a ello, logrando con el almacén una cierta independencia entre estos procesos. En los procesos de fabricación complejos hay que realizar almacenajes intermedios que por lo general son necesarios en el lugar de unión o de separación de dos líneas de producción.

En esta industria tal situación se da para productos-intermedios, como armaduras, carpintería, instalaciones incorporadas, etc.

#### Situación del almacén

La zona dedicada al almacén debe situarse cerca de la nave de fabricación y enlazarse con las vías de comunicación para el envío de las vigas.

Dos factores importantes en la ubicación del almacén intervienen. Primero: Número y disposición de naves de fabricación. En caso de existir varias naves, hay que estudiar la posibilidad de tener un único almacén o varios. Si se sigue el caso de nave única de desarrollo lineal, el almacén se dispone continuo a la nave, sucediendo lo mismo en el caso de una sola nave con varias líneas de producción en paralelo.

Es importante proveer de los medios de transporte que se van a utilizar de la fábrica al almacén. Si son de tipo rígido (pórticos sobre carriles, puente grúa, cables aéreos, etc.), la dimensión y posición del almacén quedará limitada al área servida por dichos medios de transporte. El tipo de grúa torre da una mayor libertad de movimiento y una libertad total se obtiene cuando se eligen los medios de transporte y elevación sobre ruedas.

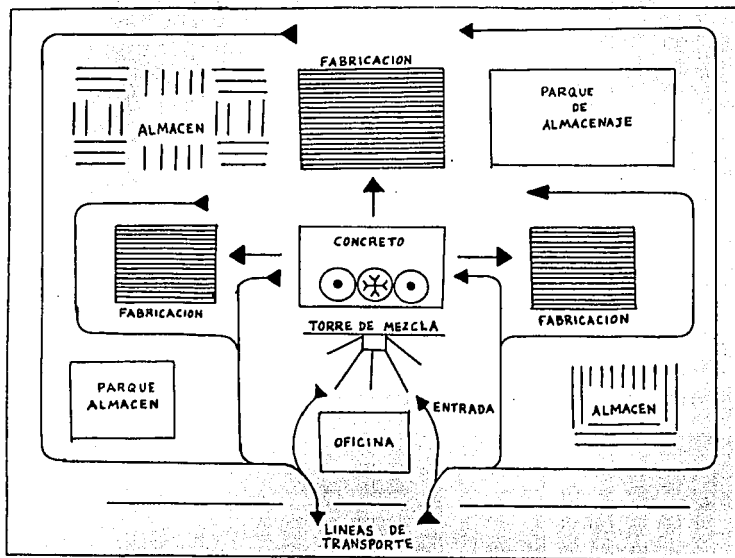
### Extensión del Almacén

La extensión del almacén depende de si la fábrica produce por encargo o para existencias normales. La producción por encargo fluctúa con la demanda, debiendo almacenar las vigas hasta que el cliente las requiera para su montaje. Las de existencia normal suelen ser productos de gran demanda y consumo poco variable. Por lo que cuanto más regular sea la demanda menor extensión de almacén se necesitará. Otro factor imprescindible para el ahorro de espacio y la extensión del almacén surge en el cómo acomodar las vigas o elementos prefabricados, ya que no siempre podrán apilarse, debido a que la variedad de tipos y formas geométricas existentes, algunas veces no se adecuan a dicho acomodo dentro del almacén.

### Montaje

El montaje de vigas se cuida desde la salida de las factorías en el manejo y transporte adecuados para que lleguen al lugar de montaje en óptimas condiciones.

Una supervisión adecuada en la planta de sus dimensiones evitará problemas posteriores en el montaje; además se debe comprobar que cada unidad esté claramente marcada con el número de contrato, número de marca y fecha de colado.



Esquema de la Organización Funcional de una Fabrica  
 ESTE ES UN ESQUEMA EN DONDE LAS COMUNICACIONES ENTRE LAS NAVES DE FABRICACION Y LOS PARQUES DE ALMACEN ESTAN COMUNICADAS POR VIAS DE CIRCULACION DE TIPO GIRATORIO.

Figura 3.4

El proyectista debe revisar que en todas las etapas - del montaje se cuente con una seguridad razonable.

La comunicación en la obra al momento del izaje debe ser lo más claro posible, ya sea por radio o señales visuales. La capacidad de izaje de cualquier accesorio está en función de la resistencia del concreto al momento del levantamiento - de la viga, sin importar lo que indique el accesorio o etiqueta.

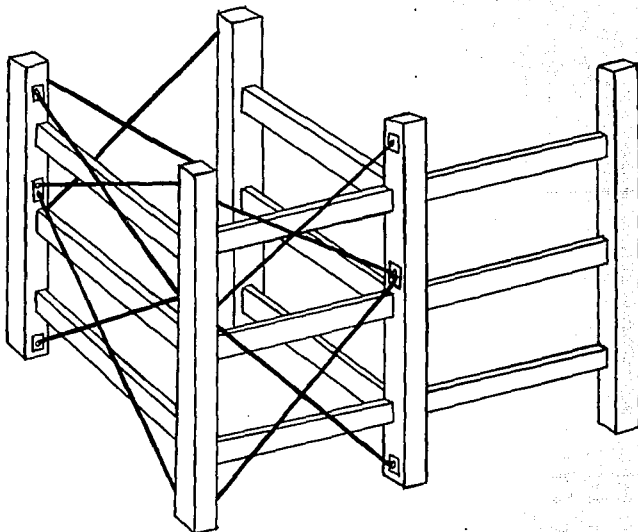
Por último cabe mencionar que las vigas prefabricadas están expuestas al peligro de tener que soportar acciones sísmicas antes de que hayan sido realizadas las conexiones que - garanticen su estabilidad definitiva, por ello en algunos casos es imprescindible recurrir a sistemas rigidizantes provisionales como lo muestra la figura 3.5

El proceso de montaje viene determinado por:

- a) El sistema constructivo
- b) El tipo de enlaces o conexiones
- c) La capacidad de la grúa disponible

La inexactitud del montaje viene determinado por:

- a) La geometría de las vigas
- b) El tipo y posición de los enlaces o conexiones



Sistema rigidizante provisional de una edificación  
Figura 3,5

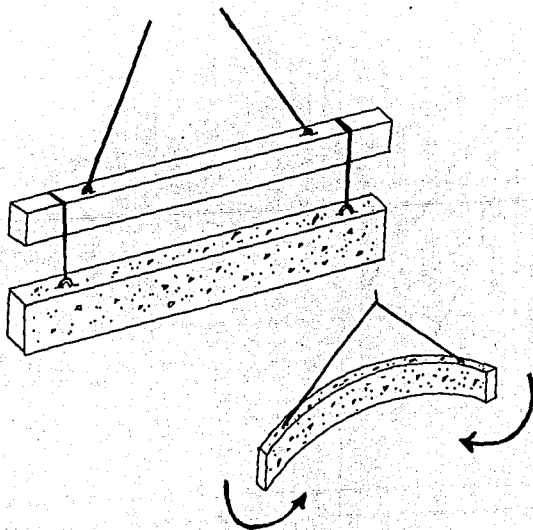


Figura 3,6

LAS BARRAS DE BALANCEO SON ESENCIALES PARA ELEMENTOS LARGOS,  
YA QUE EVITAN LA TENDENCIA DE LAS PIEZAS A PANDEARSE.



## Montaje de vigas prefabricadas

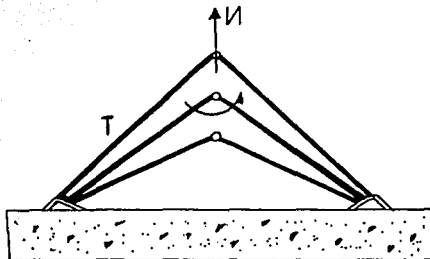


Figura 3.7

EL ANGULO ENTRE LAS ESLINGAS DETERMINA LA FUERZA DE TENSION EN LAS MISMAS, SU FALLA PUEDE CAUSAR DESASTRES.

ANGULO MAXIMO RECOMENDABLE  $90^\circ$

A $120^\circ$ , $T=W$	DONDE	$T = \text{TENSION}$
A $150^\circ$ , $T=1.93W$		$W = \text{PESO}$
A $175^\circ$ , $T=11.4W$		

- c) La capacidad de la grúa disponible.

La inexactitud del montaje viene determinado por:

- a) La geometría de las vigas  
b) El tipo y posición de los enlaces o conexiones  
c) Los dispositivos de montaje y elevación.

El montaje representa aproximadamente un 10% del costo total de los elementos prefabricados, por lo que si se aplican correctamente los criterios de diseño y seguridad, obtendremos una reducción en los costos de obra y una considerable apreciación del tiempo de instalación.

Las figuras 3.6 v 3.7 señalan aspectos importantes al momento del montaje.

#### Transporte

Por carretera.

El transporte por carretera de vigas prefabricadas es el de mayor importancia porque a las obras de construcción sólo puede llegarse, en su mayoría, por carretera.

Este transporte está regulado por reglamentos legales de tráfico determinando la altura y la anchura máximas de lo-

transportado y en muchos casos también, la longitud, el peso y el número de piezas. Por lo que en fábrica sólo deben producirse las vigas que luego sea posible transportar al lugar de la obra.

La anchura del transporte por carretera está limitada en los países europeos de 2.40 m. a 2.50 m, se entiende que los elementos que no deben de ser transportados de canto, o sea, en posición vertical no puedan rebasar la anchura de 2.50 m.

En algunos países se permite el transporte de piezas de mayor anchura siempre que vayan acompañados por policía de tráfico. En este caso la solución incluye un gasto adicional y hay que estudiar si conviene más el mayor coste del transporte o las ventajas de una anchura mayor.

En general la dimensión del elemento puesto de canto no debe exceder de 3.80 m. a 4.00 m. ya que la altura de construcción de los remolques bajos es como mínimo de 50 a 60 cm. por encima del pavimento.

La longitud de las piezas sueltas está limitada a unos 30 m. tales longitudes suelen darse además en armaduras y -- pies derechos o pilares, es decir, en elementos de forma lineal.

El peso de los elementos transportados no está limitado cuando consta de una sola pieza. Los de varias piezas no deben pasar de 10 toneladas.

En México el técnico especializado en la planeación del transporte de elementos prefabricados es el ingeniero de transporte y montaje.

El transporte de vigas se puede realizar en plataformas extensibles de 12 m. las cuales pueden circular con elementos de 20 m. ó 25 m. con carga de 30 a 33 ton.

La viga cuando sobrepasa los 12 m. es conducida por medio de dos vehículos independientes que sólo quedan enlazados entre sí por la viga misma. El vehículo anterior va provisto de lanza o enganche, el posterior lleva un dispositivo de guía o conducción de carga.

Para las vigas prefabricadas de pequeñas dimensiones es posible recurrir a camiones de tipo normal, aunque se prefiere efectuar el transporte en vehículos remolcados porque tienen la ventaja de que en los tractores no se pierde tiempo en espera, ya que la carga y descarga se efectúa únicamente con los remolques desenganchados.

Otros requisitos que se deben cumplir son la altura -

Transporte de vigas por carretera con Plataforma  
de 20 metros.

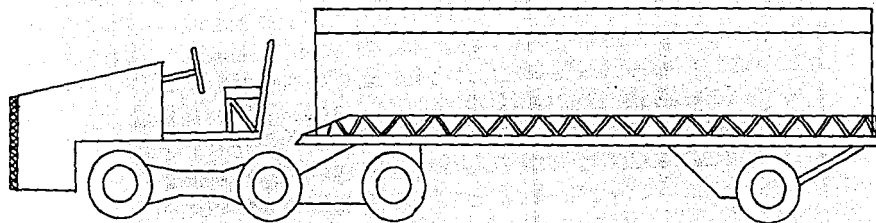


Figura 3,8

máxima que en general es de 4.50 m. así como en la altura de puentes, la zona de acceso, capacidad del suelo, etc. En muchas carreteras y calles subsisten pasos inferiores que sólo son practicables con altura bastante menores, aquí es donde el Ing. en transporte y montaje realiza sus estudios.

Por ferrocarril.

El transporte por vía férrea sólo es preferible si la fábrica, así como el emplazamiento de la obra tiene a su disposición ramal ferroviario. En caso contrario se prefiere el transporte ferroviario para recorridos largos.

El transbordo desde los vagones de ferrocarril a los vehículos de transporte por carretera es costoso, tomando en cuenta sobre todo la disponibilidad de grúa propia de la estación del ferrocarril que necesitará disponer de dos grúas; -- una para el transbordo y otra para la descarga a pie de obra.

La otra posibilidad consiste en utilizar vagones ferroviarios especiales que también puedan circular por carretera. El gálibo o altura permisible para el transporte por vía férrea es igual al del transporte por carretera, apenas con algunos centímetros de diferencia.

## CONEXIONES

Un aspecto importante de las vigas prefabricadas lo conforma las conexiones. Se puede decir en general que una conexión debe tener suficiente resistencia para desarrollar una capacidad adecuada, ser económica y sencilla, garantizar esta bilidad durante el montaje y un comportamiento aceptable bajo condiciones de servicio; aunque determinar el comportamiento es difícil por la información escasa en este respecto.

Desde el punto de vista del comportamiento ante sismo, quizás más importante que la resistencia sea la ductibilidad.

En conexiones en las que hay empalmes de varillas, la conexión debe ser capaz de desarrollar una resistencia superior correspondiente a la fluencia de las varillas unidas si se desea contar con una ductibilidad adecuada.

La economía de una junta no depende de la cantidad de materiales utilizados, sino de la sencillez con que puede realizarse y del grado en que se facilite el montaje.

Una conexión complicada tendrá más riesgo de quedar defectuosa, además de requerir una supervisión más cuidadosa.

### Sistema de Fuerzas

El sistema de fuerzas en una conexión es la suma total de las cargas transmitidas a ella.

Todas las conexiones de concreto prefabricado deberán diseñarse para resistir las cargas de gravedad, las cargas por viento, las cargas sísmicas o cualquier otra carga lateral que pueda inducirse como la que proviene de grúas o maquinaria que tenga vibraciones. Estas consideraciones de carga estructural normal o cargas típicas dan por resultado conexiones que resisten fuerzas de tensión o de compresión, cortante, torsión o momentos flexionantes.

Sin embargo, no es apropiado diseñar conexiones considerando sólo las condiciones típicas de carga, las fuerzas y esfuerzos impuestos sobre la conexión pueden alterarse, si se presentan cargas especiales como resultado de restricciones contra cambios volumétricos, rotaciones o sobrecarga en el montaje.

### Conexiones duras y conexiones suaves

Con frecuencia se hace una sobresimplificación que dispone solamente de dos tipos de sistemas de conexiones "duras" o "suaves" para resistir las diversas fuerzas que se apli



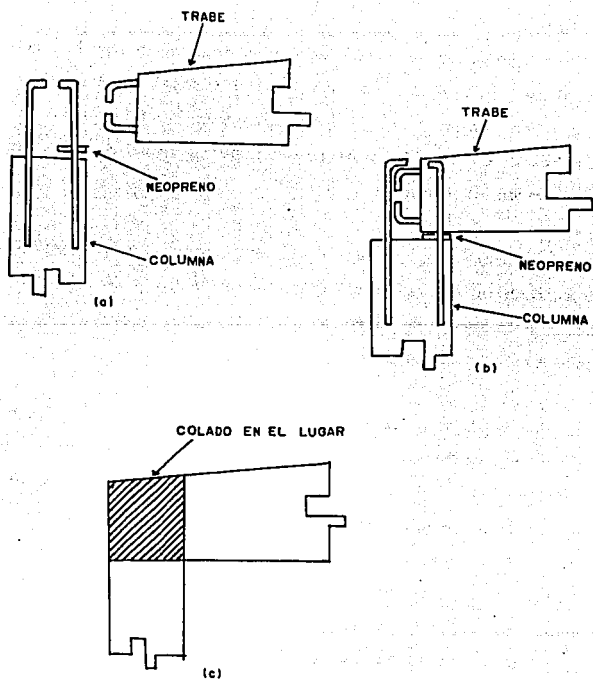


Figura 3,9

CONEXION CONTINUA TRABE-COLUMNA

can a ellas.

Una conexión dura puede definirse, como aquella que tiene placas de acero o perfiles estructurales en los miembros que van a conectarse, con la conexión hecha a base de soldadura. Una conexión dura puede hacerse también con concreto vaciado en el lugar.

Una conexión suave puede definirse, como la que tiene dos miembros que simplemente descansan uno sobre la parte superior del otro con un material amortiguador elastomérico o de otro tipo, entre ellos.

En realidad, la mayor parte de las conexiones no pueden encajar completamente en una o en la otra categoría. Una conexión dura completamente soldada se comporta considerablemente distinta de una conexión de concreto vaciado en la obra. Una conexión que tiene material suave de apoyo, sólo en el área entre las caras de los miembros que van a conectarse, pero que emplea otros detalles para proporcionar estabilidad lateral, no puede llamarse simplemente conexión suave.

La diferencia fundamental entre las conexiones suaves y duras deberá ser que permita o no rotaciones limitadas o movimientos dentro de las conexiones. En vez de seleccionar arbitrariamente, una conexión dura o una suave, el ingeniero debe

considerar plenamente todo el sistema de fuerzas impuesto - sobre la conexión, empezando por las primeras fuerzas del montaje inicial, hasta las condiciones finales de la carga en el lugar desarrollando su diseño y los detalles concordantemente.

Los siguientes son solo algunos tipos de conexiones :

Figura 3.1a Este detalle muestra una viga "T" sencilla dentro de una cavidad en un muro vaciado en la obra. Es importante hacer la cavidad de un tamaño amplio para evitar problemas al colocar los miembros.

b. Los miembros de piso y techo frecuentemente se apoyan en ménsulas vaciadas a vigas doble "T" o "T" sencilla que se usan como tableros de muro. Las conexiones atornilladas - ranuradas verticalmente, sirven para amarrar los miembros a la flexión en forma positiva a los tableros que conducen la carga, pudiendo usarse placas y ángulos soldados como se indica.

c. Para conectar una losa de techo a un muro paralelo, es importante reconocer que la losa puede tener cambios cíclicos en la contraflecha, y podrán sufrir deflexiones conforme se colocan recubrimientos, techado y otras cargas. Esto requiere una conexión que pueda acomodar los movimientos verticales. Los ángulos ranurados con roldanas de baja fricción permiten-

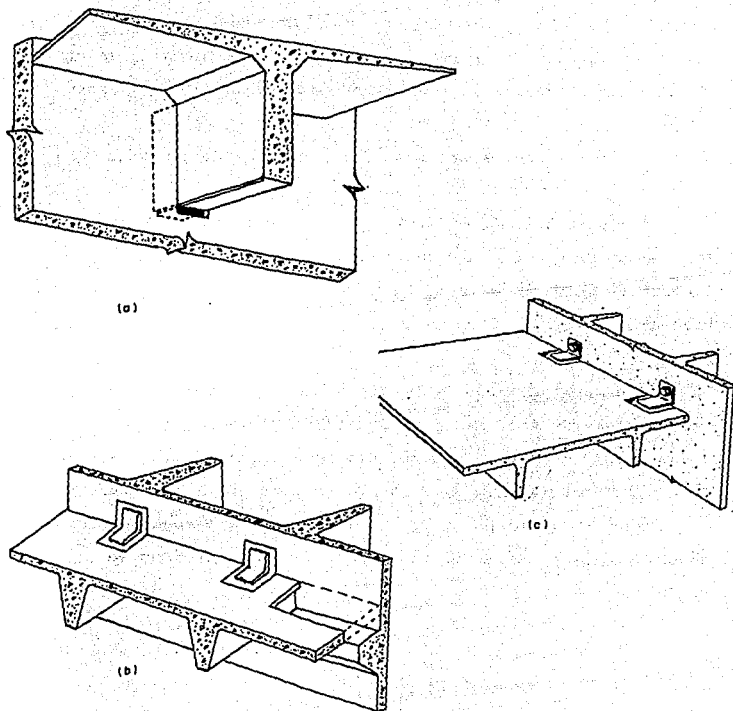
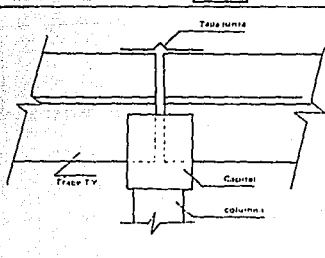
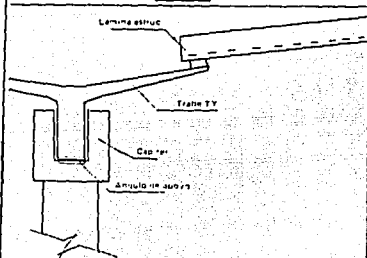
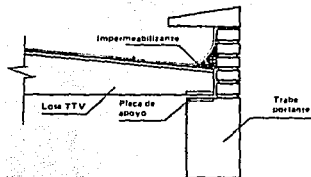
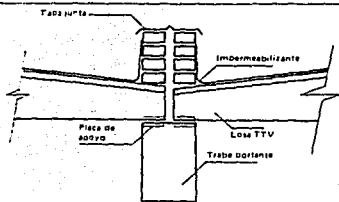
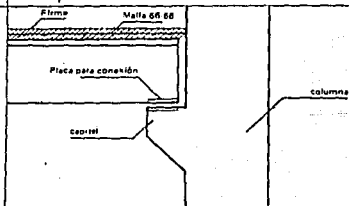
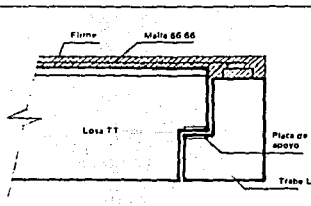
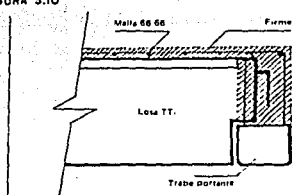
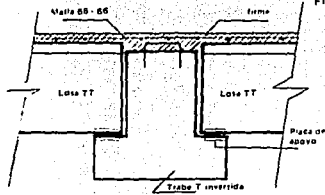


FIGURA 3.11  
CONEXIONES TÍPICAS DE LOSA A MURO

DETALLES TÍPICOS DE APOYO  
FIGURA 3.10

122



este movimiento proporcionando simultáneamente un soporte lateral al muro y al mismo tiempo transferir las cargas laterales.

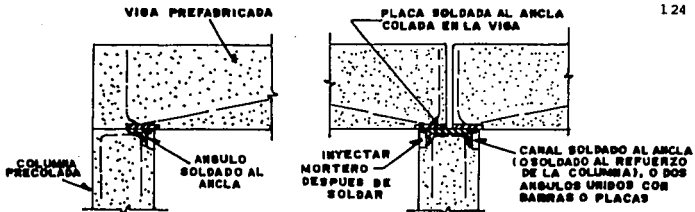


FIGURA 3.12

#### CONEXIONES SOLDADAS, CLAROS SIMPLEMENTE APOYADOS

Este detalle es adecuado para vigas de claros cortos que soportan cargas ligeras.

Son útiles este tipo de conexiones cuando no se desea transferir los momentos a los claros adyacentes y cuando no ocurre inversión de esfuerzos.

- Si se aumenta el recubrimiento del refuerzo de la columna, puede obtenerse una conexión a prueba de incendios.

- Se soldan anclas horizontales al acero ahogado en la columna y en la viga. Estas anclas deben ser adecuadas para resistir tensiones axiales debidas a disminución de la temperatura y al acortamiento por flujo plástico.

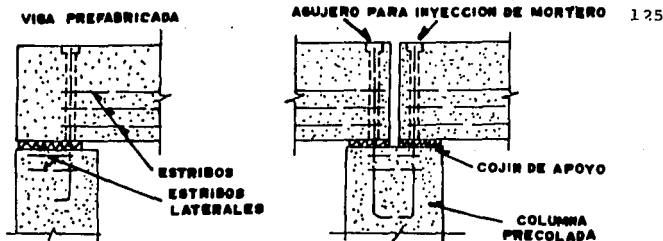


FIGURA 3.13

Figura 3.13

CONEXION CON BARRAS DE ANCLAJE  
(CLAROS SIMPLEMENTE APOYADOS)

Este es un tipo de conexión de techo simple y barato. Si se utilizan pernos en lugar de barras de anclaje, la conexión es inmediata, y proporciona seguridad en el montaje.

- Si se desea permitir pequeños movimientos, la parte inferior del agujero para la barra de anclaje debe rellenarse con mastique.
- Deben colocarse estribos horizontales alrededor de las barras de anclaje para resistir tensiones axiales por disminución de la temperatura y acortamientos por flujo plástico ocurrido en las vigas prefabricadas después del montaje.



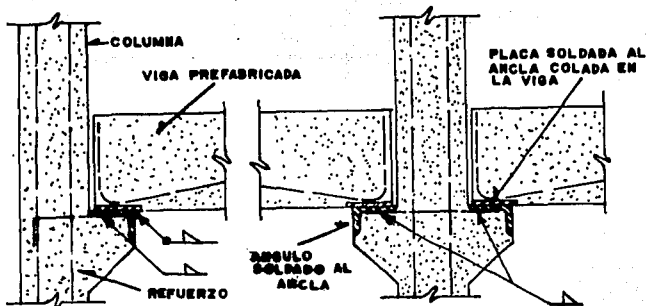


FIGURA 3.14

## CONEXIONES SOLDADAS

(CLAROS SIMPLEMENTE APOYADOS)

Este tipo de conexión se tiene en cuenta cuando se desea evitar momentos de continuidad en las columnas. Sin embargo, deben calcularse los momentos causados por la excentricidad de las cargas cuando las diferencias entre los claros o entre las cargas de las vigas son grandes.

- Es esencial soldar anclas horizontales al acero que se ahoga en la columna y en la viga.
- Cuando la viga soporta cargas muertas importantes, se procede hacer las soldaduras de punto durante el montaje y posteriormente las soldaduras de filete completas hasta que se hayan aplicado todas las cargas muertas. Esto reduce los esfuerzos en la soldadura.

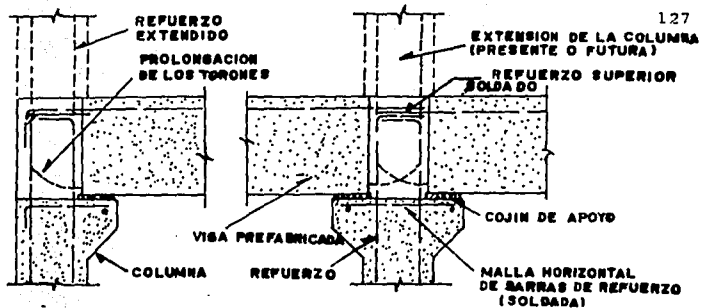


FIGURA 3.15

#### CONEXIONES SOLDADAS, CLAROS CONTINUOS

Este detalle proporciona un comportamiento monolítico entre las vigas y las columnas y permite realizar fácilmente extensiones de la columna, presentes o futuras para los pisos superiores.

- La soldadura del refuerzo superior puede ser de empuje longitudinal o angular.
- Los torones de prefuerzo deben prolongarse en el concreto colado en el lugar lo suficiente para resistir las inversiones de momento y el acortamiento axial de las vigas.
- La columna debe ser diseñada para resistir los momentos de continuidad que se le transfieren.

## IV

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LAS VIGAS  
PREFABRICADAS

La construcción con vigas prefabricadas entra en un modelo de construcción programada, esto se relaciona directamente por una parte, con las posibilidades de aceleración propias de la construcción prefabricada y por otra con la existencia de plazos intermedios muy concretos como la planificación, el cálculo, la propia construcción, la producción, el concreto hecho en fábrica o in situ y el montaje.

Las empresas prefabricadoras en base a esta construcción programada ofrecen asesoría a sus clientes para trabajar a plazos de tiempo relacionados con el avance de obra de las empresas constructoras, y ofrecen sus catálogos en los que se indican secciones, longitudes y tablas de resistencias que sirven al proyectista o ingeniero escoger con la suficiente flexibilidad lo más adecuado a sus exigencias. Entre las secciones geométricas más adecuadas o de uso común se encuentran las siguientes:

## Tipos de Vigas

- Viga o Losa TT;
- Viga TT de peralte variable;

- Viga o trabe T;
- Viga Ty;
- Trabe portante rectangular;
- Viga cuña;
- Trabe L;
- Trabe portante "T" invertida;
- Trabe AASHITO;
- Trabe cajón con aletas;
- Trabe cajón sin aletas;
- Trabe TC..

VIGA TT

O

LOSA TT

Es un elemento de concreto presforzado con dimensiones indicadas de acuerdo al proyecto.

Su presentación es en sección simple y en sección compuesta.

Una losa TT es compuesta cuando requiere un firme de concreto, vaciado en obra, de 5 cm. de espesor, por lo que se deja en el lecho superior de la losa un acabado rugoso, y a veces se dejan anclas o conectores para absorber los esfuerzos razantes. Este firme incrementa la capacidad de carga útil en ciertos rangos de longitud. Su fabricación se realiza en moldes metálicos.

Sus aplicaciones son en: Edificios, viviendas, hospitales, clínicas, auditorios, gimnasios, estadios, etc.

## VIGA TT DE PERALTE VARIABLE

O

## TRABE TTV

Es un elemento de concreto presforzado de sección TT de peralte variable. Su diseño fue realizado para satisfacer la demanda de cubiertas a dos aguas, la pendiente del patín superior permite reducir la carga viva de diseño y obtener un desagüe pluvial natural. Se fabrica en moldes metálicos o en moldes de concreto y metal que pueden ser o no autopresforzantes.

Tienen un ancho de patín estándar de 300 cm. y es 25 m. de largo o pueden fabricarse con un ancho menor y longitud sobre proyecto de centímetro en centímetro.

También es posible variar el ancho de las losas de peralte variable en forma trapecial.

Su empleo es en cubiertas de edificios, centros comerciales, plantas industriales, andenes, aeropuertos, centrales camioneras, etc. Su principal ventaja es la de economizar el volumen de concreto.

## VIGA T

La viga T es un elemento estructural de concreto presforzado, se fabrica en moldes metálicos o moldes de concreto y metal con anchos de patín hasta de 3 m. su peralte y longitud es variable de acuerdo a los requerimientos de proyecto.

Las vigas T fueron elaboradas con el fin de obtener un elemento con el máximo aprovechamiento a compresión de su patín, permitiendo obtener una alta capacidad de carga en claros de hasta 32 m.

La conexión longitudinal de las vigas T se lleva a cabo por lo general incorporándole placas de acero estructural durante su fabricación en los bordes del patín, los cuales se unen en obra mediante conectores soldados.

Cuando las vigas T son utilizadas como entrepiso, se vacía en obra un firme de concreto con 5 cm. de espesor. Las vigas T se utilizan principalmente como entrepisos, cubiertas y sistemas de muros.

## VIGA TY

Es un elemento estructural de concreto presforzado de sección "TY", se fabrica en moldes metálicos que permiten la variación del ángulo que forman las aletas con el nervio que generalmente es de 20° pudiendo llegar hasta 35° con respecto a la horizontal.

Su uso es común como cubiertas y se pueden fabricar en diferentes anchos, peraltes y longitudes de acuerdo al diseño. Su perfil transversal en forma de "Y" proporciona una sección canal que conforme a sus dimensiones satisface el escurrimiento pluvial. Las vigas se pueden colocar una a continuación de otra, o separándolas una cierta distancia y apoyándolas a diferentes niveles, colocando a los extremos de las aletas lámina estructural de asbesto o metal.

Se utilizan las vigas "TY" en centros comerciales, bodegas, talleres, laboratorios, industrias, etc.



**Elementos Estructurales de Carga****Trabe portante rectangular****Viga Cuña****Trabe L****Trabe portante "T" invertida**

Se fabrican en moldes de madera, metal o fibra de vidrio.

Se emplea concreto de alta resistencia y acero de --  
presfuerzo. En estas trabes se apoyan otros elementos como --  
pueden ser vigas TT, T, etc.

Los perfiles de estas trabes trabajan casi siempre --  
como sección compuesta al colar el firme en una segunda etapa,  
mejorando sus características geométricas para resistir las --  
acciones de las cargas muertas adicionales y vivas.

## TRABE AASHTO

Es un elemento de concreto presforzado de sección "I" de peralte constante o variable (esto se refiere a si las caras extremas del elemento son del mismo ancho o de ancho diferente o variable).

En su fabricación se utilizan moldes metálicos, su claro o longitud es variable de acuerdo a las necesidades de carga y espacio. Se han normalizado secciones para la construcción compuesta en edificios, pero no se ha desarrollado completamente, como sucede con los puentes en donde se utilizan como traveses de hasta 31 m. de longitud. Estas traveses se emplean en puentes de caminos para salvar barrancas, ríos y otras vías de comunicación tales como ferrocarriles y otras carreteras.

La oficina de caminos públicos (De E.U. pero con aplicaciones también en México) y un comité de representantes de la AASHTO y PCI han desarrollado individualmente una serie de secciones transversales para puentes de concreto presforzado que envuelve una amplia variedad de claros y cargas.

### Trabe Cajón con Aletas

Es un elemento de concreto presforzado que puede fabricarse en peralte constante o peralte variable.

Para su fabricación se utilizan por lo general moldes metálicos, con ciertas secciones tipificadas.

De hecho pueden fabricarse conforme a un proyecto específico. Su aplicación en la construcción se da en puentes carreteros y de pasos peatonales debido a su gran capacidad de carga.

### Trabe cajón sin aletas

Es un elemento de concreto presforzado que por lo general se fabrica en peralte constante.

Se puede fabricar en planta o a pie de obra utilizando moldes metálicos.

Dentro de su campo de aplicación, casi siempre se podrá escoger alguna sección estandarizada cuyas características geométricas son conocidas, realizando con mayor facilidad su diseño.

Su principal aplicación es en puentes de Ferrocarril y carreteras debido a su gran capacidad de carga.

## TRABE TC

Es un elemento de concreto presforzado en moldes metálicos. Con un ancho de hasta 1.40 m. y 1.30 m. de peralte, - sin embargo, si el número de piezas requerido lo justifica, - se pueden fabricar de cualquier peralte intermedio.

La cantidad de acero de presfuerzo que se emplea en - las traves TC es en función del claro a salvar y de la capacidad de carga requerida.

Las traves TC son de comportamiento similar a las traves TT.

Se emplean para entrepisos con sobrecargas fuertes, - como en talleres, clínicas, bodegas, centros comerciales, etc. también se emplean en sistemas de cubiertas, graderías, traves para puentes y elementos estructurales para transportadores.

En el anexo de este libro se tabulan y grafican algunas secciones representativas de las vigas de concreto presforzado presentadas en este capítulo.

Por lo que a continuación se presenta un ejemplo numérico de como utilizar dichas tablas y gráficas.

De las tablas y gráficas del Anexo se podrá seleccionar cualquier elemento adecuado a nuestros requerimientos de proyecto y su revisión numérica de esta manera:

1. Se escoge el perfil geométrico deseado  
(Tomemos una viga "TT")
2. Dimensiones propuestas o requeridas  
(Viga de 2.50 m. de ancho con 14.00 m. de largo)
3. Servicio prestado.  
(Entrepiso con firme de 5 cm. de espesor)
4. Sobrecargas útiles  
(Carga muerta adicional y carga viva)

Las características principales se toman de la curva de la gráfica que se define por la sobrecarga útil y el claro de la viga.

Las cargas de diseño a emplear son:

$$W_{cmad} = 100 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_{CV} = 170 \text{ Kg/m}^2$$

$$270 \text{ Kg/m}^2 = \text{sobrecarga útil}$$

Los datos obtenidos de gráficas (No. 4) se dan por --  
medio del claro y la sobrecarga como: TT-250-51-8T.

TT = Tipo de viga

250 = Ancho de la TT

51 = Peralte TT sin firme (para un peralte con firme-  
de concreto se agrega 5 cm. formando así una sección compues-  
ta).

8 T = 8 torones (Diámetro torones = 1/2" cada uno)

La sección queda definida de esta manera.

El esfuerzo actuante se revisa en relación a los es -  
fuerzos permisibles en el estado cargado y descargado.

#### Propiedades Geométricas

Las propiedades geométricas aparecen en tablas, en -  
nuestro caso se utilizó la tabla No. 1 (anexo) correspondien-  
te a los elementos TT indicados en la gráfica No. 4 (Anexo)

Resistencia del Concreto:

En el firme:  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$

En la viga TT:  $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$

Como los concretos son de diferente resistencia; el -



ancho efectivo del patín de la viga trabajando como sección -  
compuesta será:

$$b_e \text{ (Ancho efectivo)} = \frac{b}{n_c}, \quad n_c = \frac{E_{\text{prefabricado}}}{E_{\text{Losa}}}$$

$$b = 250 \text{ cm.}$$

$$(*) E_{\text{pref.}} = 285,000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$(*) E_{\text{losa}} = 216,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$n_c = \frac{285,000}{216,000} = 1.32$$

$$b_e = \frac{250}{1.32} = 189.40 = 190 \text{ cm.}$$

$$b_e = 190 \text{ cm.}$$

(\*) = Datos tomados del reglamento del ACI y la AASHTO para  
un concreto de peso normal.

Como sección compuesta se trabajará en dos etapas:

1ra. En sección simple para  $W_{p\text{ptt}}$  y  $W_{pp}^{\text{firme}}$

2da. En sección compuesta para  $W_{c\text{Mad}}$  y  $W_{cv}$

La viga se analiza como simplemente apoyada, sometida a cargas uniformemente repartidas

$$M_{\text{máx}} = M_c = \frac{WL^2}{8}$$

Determinación  $W_{p\text{ptt}}$

Se obtiene de tablas o multiplicando el área de la sección transversal de la tt por el peso volumétrico ( $\gamma_c = 2,400 \text{ Kg/m}^3$ )

Determinación  $W_{pp}^{\text{firme}}$

Se multiplica el espesor del firme por el ancho de la viga y por el peso volumétrico del concreto.

$$W_{p\text{ptt}} = (0.267 \text{ m}^2) (2,400 \text{ Kg/m}^3) = 641 \text{ Kg/m}$$

$$W_{pp}^{\text{firme}} = (0.05 \text{ m}) (2.50 \text{ m}) (2,400 \text{ Kg/m}^3) = 300 \text{ Kg/m}$$

Cálculo de los momentos

$$M_{p\text{ptt}} = \frac{(641) (14)^2}{8} = 641 \times 24.50 = 15,704.50 \text{ Kg-m} = 1,570,450$$

kg-cm.

$$M_{ppfirme} = 300 \times 24.50 = 7,350 \text{ kg-m} = 735,000 \text{ Kg-cm.}$$

$$M_{cMadic} = (100) (2.50) (24.50) = 6,125 \text{ kg-m} = 612,500 \text{ kg-cm}$$

$$M_{cv} = (170) (2.50) (24.50) = 10,412.50 \text{ Kg.-m} = 1,041,250 \text{ kg-cm}$$

### Cálculo de Esfuerzos

Con los momentos anteriores se calculan los esfuerzos en las fibras extremas, empleando los módulos de la sección simple para el peso propio de la tt y peso propio del firme.- Para calcular los esfuerzos producidos por las cargas muertas adicionales y carga viva empleamos los módulos de la sección compuesta indicada en la tabla No. 2 (anexo)

Para el esfuerzo en la fibra superior de la sección compuesta, (lecho superior de la TT), se calcula el módulo de sección a esta altura:

$$Ss_1 = \frac{I}{(Y_s - h_3)} = \frac{774,406}{(14.4-5)} = 82,384 \text{ cm}^3$$

Esfuerzos (sección simple)

$$f_{pptt} = \frac{1,570,450}{43,159} = 36.40 \text{ Kg/cm}^2 \quad f'_{pptt} = \frac{1,570,450}{15,805} = 99.40 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{ppfirme} = \frac{735,000}{43,159} = 17.00 \text{ Kg/cm}^2 \quad f'_{ppfirme} = \frac{735,000}{15,805} = 46.50 \text{ Kg/cm}^2$$

## Esfuerzos (sección compuesta)

$$f_{cMadic} = \frac{612,500}{82,384} = 7.40 \text{ Kg/cm}^2 \quad f'_{cMadic} = \frac{612,500}{18,633} = 32.90 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{cv} = \frac{1,041,250}{82,384} = 12.60 \text{ Kg/cm}^2 \quad f'_{cv} = \frac{1,041,250}{18,633} = 55.90 \text{ Kg/cm}^2$$

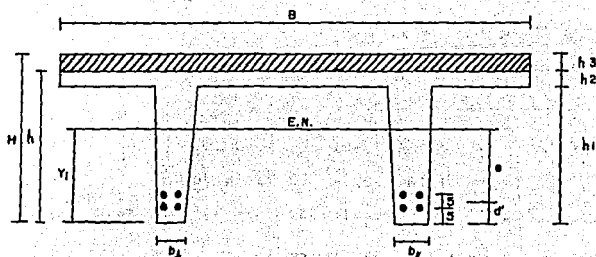
Los esfuerzos por carga muerta adicional y carva viva en el lecho superior del firme (sección compuesta) valdrán:

$$f_{cMadic} = \frac{612,500}{53,629} = 11.40 \text{ Kg/cm}^2 \text{ ----- (A)}$$

$$f_{cv} = \frac{1,041,250}{53,629} = 19.40 \text{ Kg/cm}^2 \text{ ----- (B)}$$

## Presfuerzo

El prefabricador indica en tablas 8 torones de  $\phi=1/2"$  con una calidad del acero de 270 K y una resistencia última  $f's=18,900 \text{ kg/cm}^2$



ESQUEMA DE LA VIGA EN SU SECCION COMPUESTA

Para un torón  $\phi$  n6mina = 1/2" cm. se toma un  $\phi$  real = 1.13 cm.

$$\text{Area} = \pi r^2 = \pi (0.565)^2 = 1.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area de 4 torones} = (1.00) (4) = 4 \text{ cm}^2$$

$$d' = \frac{(4)(5) + (4)(10)}{8} = 7.50 \text{ cm.}$$

$$e = (Y_i - d') = (37.3 - 7.50) = 29.80 \text{ cm.}$$

$$f_{pi} = 0.7 f'_s = (0.70) (18,900) = 13,230 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{pe} = (\text{aprox. } 86\% f_{pi}) = (0.86) (13,230) = 11,388 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_o = A_p f_{pe} = (8 \text{ cm}^2) (11,388 \text{ kg/cm}^2)$$

$$P_o = 91,104 \text{ kg}$$

Por lo que los esfuerzos en las fibras extremas producidos por el presfuerzo (secci6n simple) valdr6n:

$$f_s = \frac{P_o}{A_c} \frac{P_o \cdot e}{S_s}$$

$$f_i = \frac{P_o}{A_c} \frac{P_o \cdot e}{S_i}$$

$$f_s = \frac{91,104}{2,670} \frac{(91,104)(29.80)}{43,159} = -28.80 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{91,104}{2,670} \frac{(91,104)(29.80)}{15,805} = 205.87 \text{ Kg/cm}^2$$

Al momento de la transferencia del presfuerzo, los esfuerzos se ven incrementados un 12.50% por lo que valdr6n:

$$f_{st} = K(f_s) = 1.125(-28.80) = -32.40 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{it} = K_f(f_i) = 1.125(205.87) = 231.60 \text{ Kg/cm}^2$$

Con el tiempo habrá en el acero caídas de tensión, por lo que las pérdidas serán de:

$$P_{TS} = f_{st} - f_s = 32.40 - 28.80 = 3.60 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{Ti} = f_{it} - f_i = 231.60 - 205.87 = 25.73 \text{ Kg/cm}^2$$

## RESUMEN DE ESFUERZOS

ESTADO DE CARGA	FIBRA SUPERIOR		FIBRA INFERIOR	
	PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	ACUMULADO
PESO PROPIO DE LA TT	36.40	36.40	-99.40	-99.40
PRESFUERZO INICIAL	-32.40	4	231.60	132.20
PESO PROPIO DEL FIRME	17.00	21.00	-46.50	85.70
CARGA MUERTA ADIC.	7.40	28.40	-32.90	52.80
PERDIDAS	3.60	32.00	-25.73	27.07
CARGA VIVA	12.60	44.60	-55.90	-28.83

## ESFUERZOS PERMISIBLES EN EL CONCRETO

## ESTADO DESCARGADO

$$f_{ci} = 0,8 f_c = (0,80)(350)$$

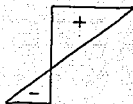
$$f_{ci} = 280 \text{ kg/cm}^2$$



$$0,8 \sqrt{f_{ci}} = 13,40 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,6 f_{ci} = 168,00 \text{ kg/cm}^2$$

## ESTADO CARGADO



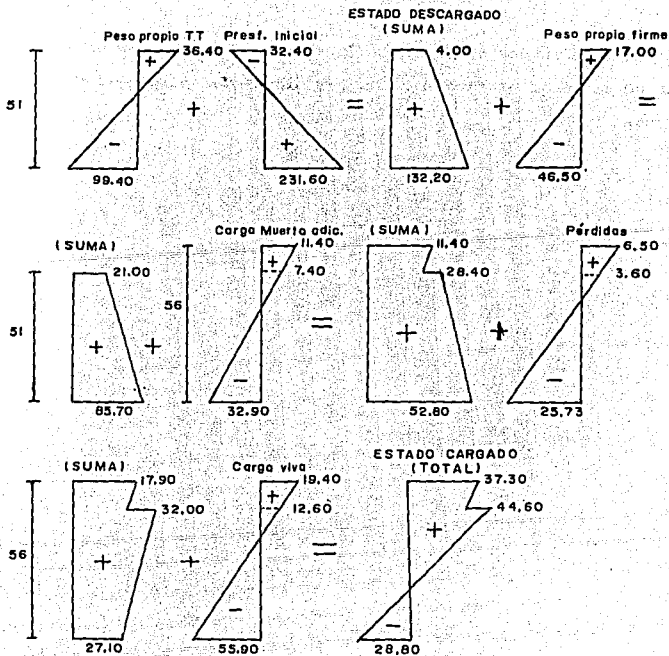
$$0,45 f_c = (0,45)(350) = 157,50 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,60 \sqrt{f_c} = 1,60 \sqrt{350} = 30,00 \text{ kg/cm}^2$$



Los esfuerzos actuantes en la viga durante la transferencia y después de las pérdidas de presfuerzo cumplen con los esfuerzos permisibles en el concreto.

Los esfuerzos de la tabla de resumen de esfuerzos se pueden representar gráficamente en las siguientes diagramas de esfuerzos.



\* Valor calculado en la ecuación (A)

\*\* Valor calculado en la ecuación (B)

El orden en que se obtuvieron los esfuerzos esta basado en desarrollos matemáticos con una pérdida de presfuerzo -- de 12.5% inferior al porcentaje promedio de los diferentes -- concretos con calidades de peso normal a concretos ligeros -- que van de 18% al 25% de pérdidas sujetas al transcurso del -- tiempo.

Para entender que ocurre con los esfuerzos en una -- viga presforzada que trabaja como sección compuesta se dan -- a continuación los mismos resultados empleando los siguientes -- datos:

Viga prefabricada

$$A_c = 2,670 \text{ cm}^2$$

$$I_p = 589,987 \text{ cm}^4$$

$$e = 29.80 \text{ cm}$$

$$S_{sp} = 43,159 \text{ cm}^3$$

$$S_{ip} = 15,805 \text{ cm}^3$$

Viga compuesta

$$Y_{sc1} = 5.00 \text{ cm.}$$

$$Y_{sc} = 14.40 \text{ cm.}$$

$$Y_{ic} = 41.60 \text{ cm.}$$

$$I_c = 774,406 \text{ cm}^4$$

$$S_{sc1} = \frac{774,406}{(14.4-5)} = 82,384 \text{ cm}^3$$

$$S_{sc} = 53,629 \text{ cm}^3$$

$$S_{ic} = 18,633 \text{ cm}^3$$

Se da  $P_o = 91,104 \text{ kg}$  que se tomará en este caso como una fuer

za efectiva  $P_e = 91,104$  Kg. y como  $P_i = 1.125 P_e = (1.25)(91.104, \text{ kg}) = 102, 492$  Kg.

Esfuerzo del concreto en la transferencia, estado descargado

$$f_s = \frac{P_i}{A_c} - \frac{P_i \cdot e}{S_{sp}} + \frac{M_o}{S_{sp}}$$

$$f_i = \frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i \cdot e}{S_{ip}} - \frac{M_o}{S_{ip}}$$

$$f_s = \frac{102,492}{2,670} - \frac{(102,492)(29.80)}{43,159} + \frac{1,570,450}{43,159}$$

$$f_s = 4.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{102,492}{2,670} + \frac{(102,492)(29.80)}{15,805} - \frac{1,570,450}{15,805}$$

$$f_i = 132.25 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo del concreto en el centro del claro después de las pérdidas con la sobrecarga útil.

$$f_{sp} = \frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e \cdot e}{S_{sp}} + \frac{M_{pott} + M_{pfirme}}{S_{sp}} - \frac{M_{cmad} + M_{cv}}{S_{sci}}$$

$$f_{ip} = \frac{Pe}{A_c} + \frac{Pe \cdot e}{S_{ip}} - \frac{M_{pptt} + M_{ppfirme}}{S_{ip}} + \frac{M_{cmad} + M_{cv}}{S_{ic}}$$

$$f_c = \frac{M_{ppfirme} + M_{cMadic} + M_{cv}}{S_{sc} \cdot h_c} + \% \text{ p\u00e9rdidas}$$

$$f_{ic} = \frac{M_{ppfirme} + M_{cMadic} + M_{cv}}{S_{sc1} \cdot h_c} + \% \text{ p\u00e9rdidas}$$

$$f_{sp} = \frac{91,104}{2,670} - \frac{(91,104)(29.80)}{43,159} + \frac{2,305,450}{43,159} + \frac{1,653,750}{82,384}$$

$$f_{sp} = 44.70 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{ip} = \frac{91,104}{2,670} + \frac{(91,104)(29.80)}{15,805} - \frac{2,305,450}{15,805} - \frac{1,653,750}{18,633}$$

$$f_{ip} = - 28.73 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{sc} = \left[ \frac{2388,750}{(53,629)(1.32)} \right] (1.125)$$

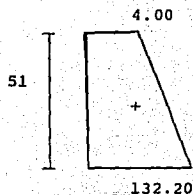
$$f_{sc} = 37.96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{ic} = \left[ \frac{2388,750}{(82,384)(1.32)} \right] (1.125)$$

$$f_{ic} = 24.70 \text{ Kg/cm}^2$$

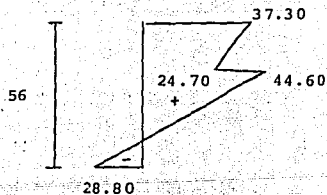
Estado descargado

(suma)



Estado cargado

(suma)



Los datos obtenidos de los esfuerzos son similares a los que se dan primeramente en la tabla de resumen de esfuerzos.

## Momento de Agrietamiento

$$F_r = 1.989 \cdot \sqrt{F'c} = 1.989 \cdot \sqrt{350} = 37.21 \text{ Kg/cm}^2$$

$$M_{cr} = \frac{P_e \cdot S_{ic}}{A_c} + \frac{P_e \cdot e \cdot S_{ic}}{S_{ip}} + F_r \cdot S_{ic}$$

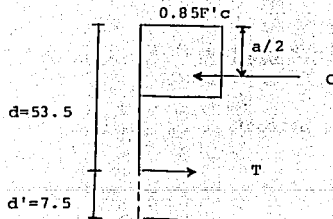
$$M_{cr} = \frac{(91,104) (18,633)}{2,670} + \frac{(91,104) (29.80) (18,633)}{15,805}$$

$$+ (37.20) (18,633) = 4,529,609 \text{ Kg-cm}$$

$$M_{cr} = 45.29 \text{ Ton-m}$$

## Momento último Resistente

Revisión a la ruptura



$$T = A_p F's = 8 \times 18,900 = 151,200 \text{ kg.}$$

Profundidad del bloque de compresiones

$$a = \frac{T_u}{0.85f'cb} = \frac{151,200}{0.85(200)(250)} = 3.6 < 5\text{cm. (Espesor del firme)}$$

$$M_n = T_u (d - a/2) = 151,200 (53.5 - \frac{3.6}{2})$$

$$M_n = 7,817,040 \text{ Kg - cm}$$

$$M_R = \phi M_n \text{ donde } \phi = 0.90$$

$$M_R = (0.9) \cdot (7,817,040) = 7,035,336 \text{ kg - cm}$$

$$M_R = 70.35 \text{ Ton-m}$$

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is crucial for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for consistent and reliable data collection processes to ensure the validity of the findings.

3. The third part of the document describes the results of the data analysis. It provides a detailed overview of the key findings and trends observed in the data, along with any significant anomalies or outliers.

4. The fourth part of the document discusses the implications of the findings and provides recommendations for future actions. It suggests ways in which the organization can improve its performance based on the insights gained from the data analysis.

5. The fifth part of the document concludes the report and summarizes the main points. It reiterates the importance of ongoing data collection and analysis in supporting the organization's strategic goals and objectives.

6. The sixth part of the document provides a list of references and sources used in the report. This includes academic journals, books, and other relevant publications that informed the research and analysis.

7. The seventh part of the document includes a list of appendices and supplementary materials. These materials provide additional data, charts, and tables that support the findings and conclusions of the report.

8. The eighth part of the document contains a list of figures and tables. These visual aids help to present the data in a clear and concise manner, making it easier for the reader to understand the key findings and trends.

9. The ninth part of the document includes a list of footnotes and endnotes. These provide additional information and clarification on specific points mentioned in the report, as well as any relevant updates or corrections.

10. The tenth part of the document contains a list of contact information for the authors and researchers involved in the project. This allows the reader to reach out for further information or to discuss any questions related to the report.

11. The eleventh part of the document includes a list of acknowledgments. This section expresses gratitude to the individuals and organizations that provided support, resources, and assistance throughout the course of the research and analysis.

12. The twelfth part of the document contains a list of abbreviations and acronyms used in the report. This helps to ensure that the reader can understand the meaning of these terms and symbols throughout the document.

13. The thirteenth part of the document includes a list of glossary terms. This provides definitions and explanations for key concepts and terminology used in the report, ensuring that the reader has a clear understanding of the subject matter.

14. The final part of the document is a list of references and sources. This section provides a comprehensive list of all the materials and publications cited in the report, allowing the reader to verify the accuracy and reliability of the information presented.



## Momento Ultimo de Diseño

$$M_U = 1.4 M_{CM} + 1.7 M_{CV}$$

$$M_U = 1.4 (M_{pptt} + M_{ppfirme} + M_{cMadic}) + 1.7 M_{CV}$$

$$M_U = 1.4 (291,7950) + 1.7 (1,041,250)$$

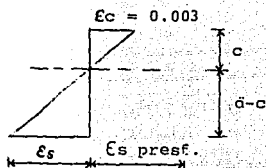
$$M_U = 58,55,255 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_U = 58.55 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$M_U < MR$$

$$58,55 \text{ Ton} \cdot \text{m} < 70.35 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

## Revisión a la fluencia



$$\beta = 1.05 - \frac{f'c}{1,400}$$

$$\beta = 1.05 - \frac{350}{1,400}$$

$$\beta = 0.80$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2.67}{0.8}$$

$$a = \frac{T}{0.85 f'c b e}$$

$$c = 3.34$$

$$a = \frac{151,200}{(0.85) \cdot (350) \cdot (190)}$$

$$d - c = (53.5 - 3.34) = 50.16$$

Cálculo de  $\epsilon_s$ 

$$\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{d-c}$$

$$\frac{0.003}{3.34} = \frac{\epsilon_s}{50.16}$$

$$\epsilon_s = \frac{(0.003) (50.16)}{3.34}$$

$$\epsilon_s = 0.045$$

$$\epsilon_{s_{\text{presf.}}} = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_{pe} = \frac{f_{pe}}{\epsilon_p}$$

$$\epsilon_1 = \frac{11,388}{1.9 \times 10^6} = 0.006$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E_c} \left( \frac{P_e}{A} + \frac{P_e \cdot e^2}{I} \right)$$

$$= \frac{P_e}{E_c} \left( \frac{1}{A} + \frac{e^2}{I} \right)$$

$$\epsilon_2 = \frac{91,104}{285,000} \left[ \frac{1}{2,670} + \frac{(29.80)^2}{589,987} \right]$$

$$\epsilon_2 = 0.0006$$

$$\epsilon_3 = \epsilon_s = 0.045$$

$$\epsilon_{spresf.} = 0.006 + 0.0006 + 0.045 = 0.052$$

$$\epsilon_s + \epsilon_{spresf.} = 0.045 + 0.052 = 0.097$$

$$\epsilon_s + \epsilon_{spresf.} > 0.01$$

0.097 > 0.01 Sección subreforzada

El acero trabaja y fluye conjuntamente con el  
concreto.

## V

RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION MEDIANTE VIGAS  
PREFABRICADAS

La construcción a base de elementos prefabricados re-  
ditúa en mucho sobre los métodos convencionales.

En su fabricación las máquinas trabajan mejor que los  
hombres; la calidad de los materiales es constante, controla-  
dos y dosificados con exactitud por lo que se logra la preci-  
sión necesaria en las dimensiones de los elementos.

La producción de las vigas se alcanza a plazos que -  
anteriormente eran imposibles. Esta disminución de tiempo se-  
traduce en mejores salarios, reducción del coste de los jorna-  
les y en la simplificación del financiamiento intermedio de -  
los edificios o construcciones.

Los servicios en las instalaciones mecánicas no exi-  
gen algún trabajo corporal pesado, por ejemplo el montaje no-  
obliga al esfuerzo físico, el personal requerido es siempre -  
escaso y las condiciones de trabajo socialmente mejoran al --  
evitar los despidos temporales o intermitentes por ser la pro-  
ducción independiente del tiempo. Otras ventajas que podemos-  
encontrar son:

- Superación del desorden arquitectónico y de la monotonia constructiva;
- Rapidez en el montaje;
- Cargas vivas fuertes;
- Grandes áreas útiles sin columnas intermedias;
- Facilidad de instalación;
- Disminución de altura total en los edificios con entrepisos esbeltos;
- Trabajo eficiente en estructura continuas de varios niveles;
- Ahorro de pinturas, aplanados y falsos plafones

El campo de acción de los prefabricados, se refleja en México con agrado en obras cada vez más importantes.

Esta tendencia se cristaliza en las viviendas, bodegas, clínicas, centros comerciales y en otras interminables aplicaciones prácticas no menos considerables.

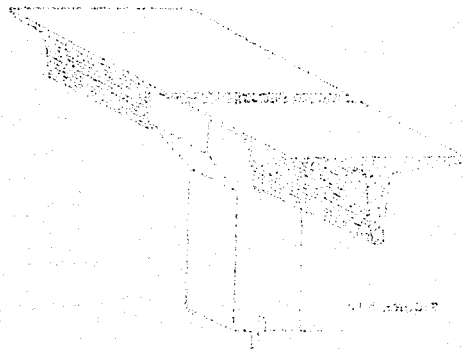
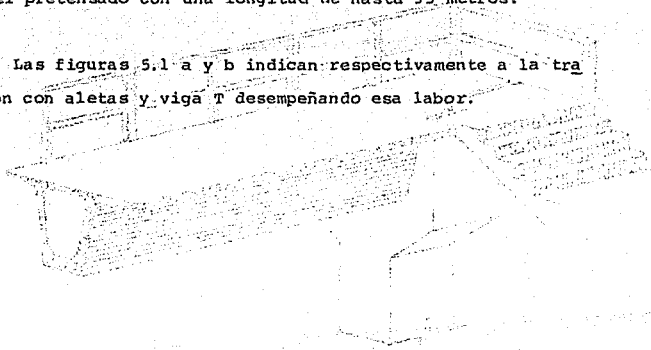
Los siguientes son sólo algunos ejemplos en donde se presenta la funcionalidad de la viga de manera más personalizada.

#### Paso o Puente Peatonal

Por la ligereza y fácil transporte las vigas utilizadas como puentes peatonales son aquellas fabricadas por el mé

todo del pretensado con una longitud de hasta 35 metros.

Las figuras 5.1 a y b indican respectivamente a la trabe cajón con aletas y viga T desempeñando esa labor.



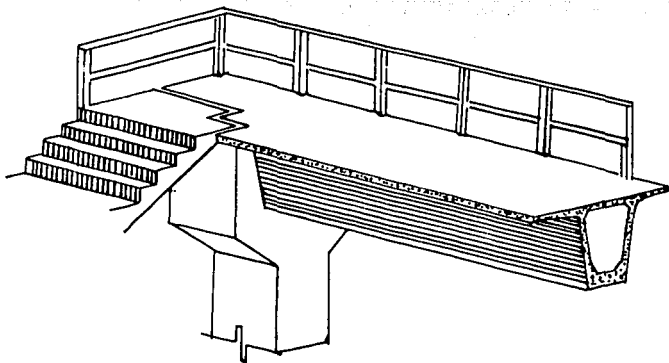


FIGURA 5.1 a

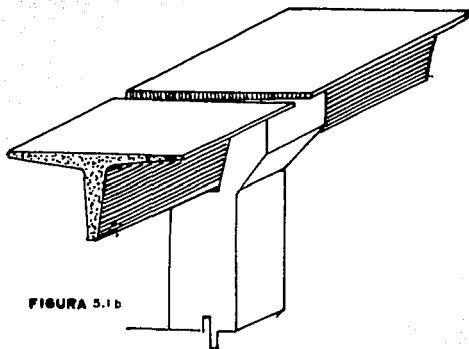


FIGURA 5.1 b

### Conjunto comercial

#### "gran Bazar"

Los arreglos de vigas que se observan en las figuras 5.2 y 5.3 son algunos de los tantos que se pueden realizar para losas de entrepiso en las edificaciones. Estas combinaciones tienen sus limitantes sólo en el espacio disponible y la imaginación.

El conjunto comercial "Gran Bazar" ubicado en la ciudad de México aplicó como losas de entrepiso estos elementos estructurales dispuestos en orden a la funcionalidad requerida.

La superficie aproximada de construcción del conjunto comercial fue de 25,000 M<sup>2</sup> colando en obra las cimentaciones y columnas. Los elementos prefabricados empleados en los pisos y cubiertas son los siguientes:

Trabes portantes de 24.00 m (Postensado)

Viga "T" de 24.000 (Pretensado)

Losa plana de 4.50 m. (pretensado)

Losa o viga "TT" de 13.50 m. (Pretensado)

En las fachadas de las tiendas suburbia y superama se utilizaron elementos prefabricados combinados como vigas TT de 6 a 14 m. de longitud. Otros elementos prefabricados se fuer -



ron montando simultáneamente en todos los niveles comprendidos, dejando áreas terminadas que permitieron hacer los acabados - como en la tienda (P.B.), oficinas (P.A.) y azotea, con lo que se pudo agilizar la obra.

Los claros de 24.00 m. en ambos sentidos permitieron - abatir costos que con los sistemas tradicionales no hubiera - sido posible y concluir la obra en un tiempo record de 3 meses.

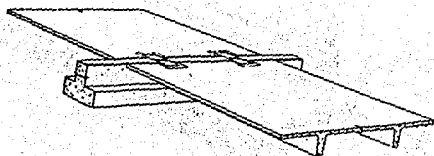


FIGURA 5.3 a

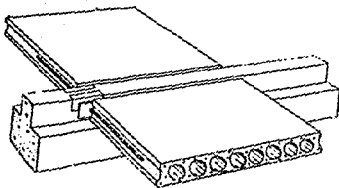


FIGURA 5.3 b

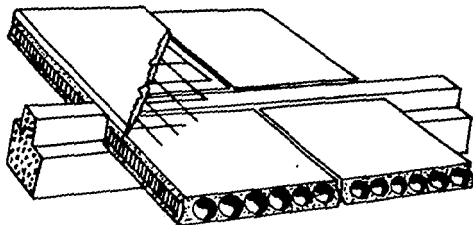


FIGURA 5.2 a

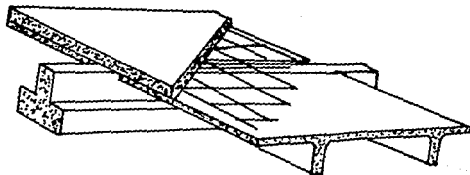
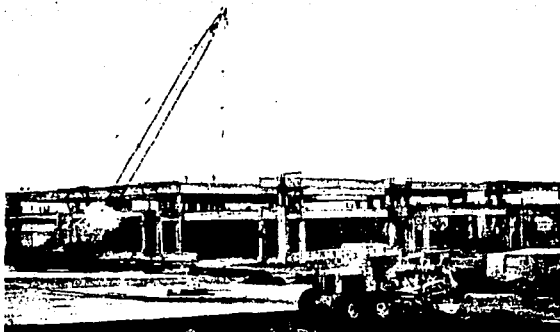


FIGURA 5.2 b

FOTO I



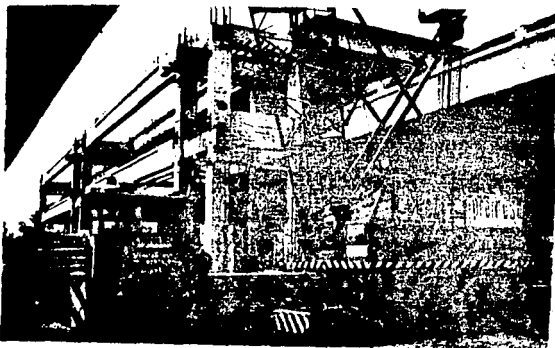
SUPERFICIE DE 25,000m<sup>2</sup> DE CONSTRUCCION PARA EL CONJUNTO COMERCIAL GRAN BAZAR.

FOTO 2



MONTAJE DE VIGAS T-T EN LA FACHADA DEL CENTRO COMERCIAL GRAN BAZAR

FOTOS 3 Y 4



VIGAS PREFABRICADAS MONTADAS EN SITIO.

Prefabricados en el Metro  
(zona del tren subterráneo)

En la ciudad de México como parte de una gran infraestructura urbanística el sistema de transporte colectivo "Metro" ha representado una solución a los problemas del crecimiento demográfico y la demanda creciente del transporte. La utilización de los prefabricados en las obras del metro no surgió como alternativa factible, sino más bien como rasgo principal en el proceso constructivo; desde el inicio de las primeras obras subterráneas los prefabricados se emplearon con buenos resultados.

En el tunel de recorrido del metro se sirvió de las vigas "Tt" pretensadas y trabes "T" invertidas como cubiertas o losas de carga del subterráneo (técnicamente identificadas también como tabletas presforzadas).

Con un largo aproximado de 7.60 m. y un claro o espacio libre para los trenes y vías de 7.20 m. apoyadas 20.00 cm en cada lado de muro.

La figura 5.4 en un corte transversal muestra este tipo de viga. Para detener el empuje de tierras laterales en el tunel de recorrido se emplearon tablestacas coladas en el lugar.

La superficie de rodamiento del tranvía (Metro) se de  
fine en un armado colado en sitio o una combinación de un pre  
fabricado con este formando así una sección compuesta.

Los cortes A-A de las figuras 5.5 a y b indican an -  
chos y peraltes de las tabletas que vienen determinados por -  
factores tales como el tipo de zona en construcción, profundi  
dad del tunel, cargas vivas y muertas sujetas a condiciones -  
particulares y especiales del tramo en construcción y otras -  
solicitaciones.



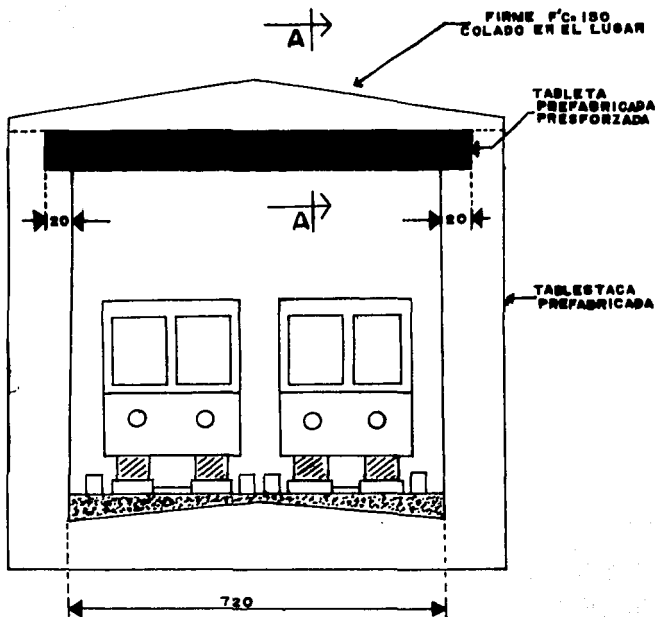
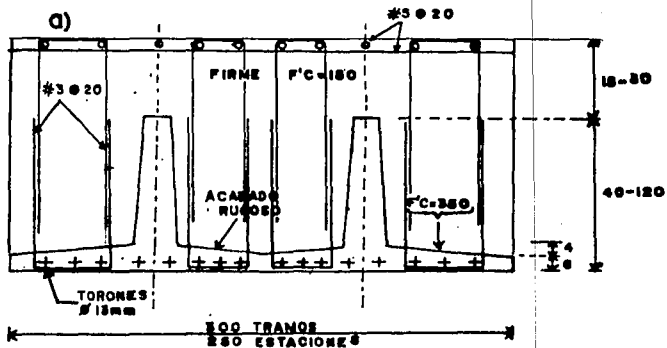


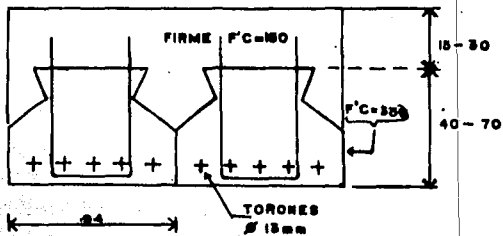
FIGURA 5.4

FIGURA 5.5



CORTE A-A  
REFUERZO EN SECCION COMPUESTA

b)



CORTE A-A  
SECCION COMPUESTA

ACOTACION: CM

Sistema de Lanzamiento  
(Proceso constructivo de un puente)

En postensado la trabe cajón con aletas se emplea en puentes carreteros y de vías férreas. Entre los sistemas constructivos aplicados para este tipo de viga, el sistema de lanzamiento por incrementos sucesivos (empujado) se presenta como una buena alternativa práctica en construcción de puentes.

Este sistema Alemán (introducido a México en los años 80's) es uno de los más tecnificados, simple y económico.

Con este sistema se han construido algunas puentes como:

- Río Tula 1000 m.
- Atoyac 1000 m.
- La Marquesa 680 m.
- Atenquique I 400 m.
- Atenquique II 500 m.

En general y con la idea básica de este sistema la construcción de las traveses cajón con aletas se realiza en tramos o dovelas de una determinada longitud en un parque de pre-fabricación atrás de un estribo en el eje del puente. Cada dovela subsecuente se cuela directamente contra la anterior,

de tal forma que cuando el concreto ha endurecido y ha sido presforzada la estructura resultante se procede al avance hacia adelante por medio de dispositivos hidráulicos especiales figura 5.6a.

#### Comportamiento Estructural del Puente

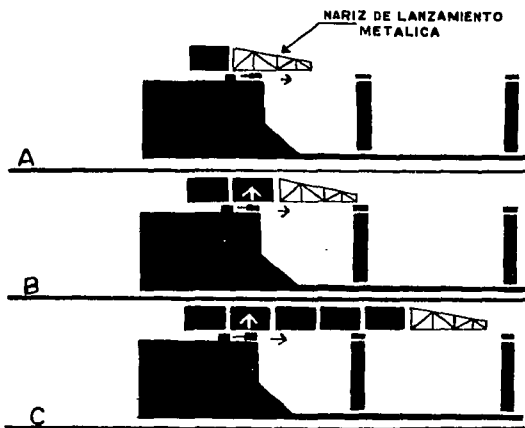
Durante el lanzamiento o avance del puente las dowe-- las o superestructura se encuentra sujeta a cambios continuos en la ley de momentos flexionantes correspondientes a los máximos de peso propio, de forma tal que cualquier sección transversal puede quedar en la zona tanto de momentos positivos - como de momentos negativos dependiendo del avance de la superestructura, ocurriendo que los esfuerzos de tensión se presenten alternativamente en la parte superior e inferior de cada sección. Figura 5.6 b.

La consecuencia de este hecho ha dispuesto un presfuerzo constante y recto, alojado en las fibras superiores e inferiores de la estructura o trabe cajón, que sea capaz de soportar la amplitud de momentos exigida por la envolvente, -- al moverse el puente por todas las pilas durante la construcción. A este presfuerzo se le denomina céntrico. Al terminar el empujado se le añadirán otras familias de cables de continuidad que compensarán los momentos negativos de sobrecarga vehicular no absorbidos por el presfuerzo céntrico, figura 5.7a.

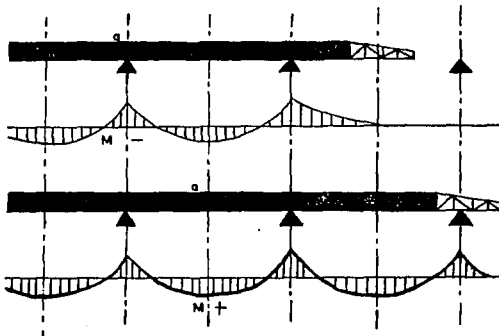
Los claros usuales utilizados en este sistema oscilan entre 30 y 60 m. Es de ventaja desde el punto de vista de diseño que todos los claros sean iguales, excepto en los extremos del puente en donde no deben exceder al 75% de los claros tipo. Fig. 5.7b.

El problema en la construcción del puente se presenta cuando un claro entero está en voladizo durante las fases de empujado. En este caso el momento flexionante máximo será  $PL/2$ , siendo  $P$  la carga de peso propio más importante del puente. Esto se resuelve con la disponibilidad de un elemento metálico ligero denominado nariz de lanzamiento, sujeto a la parte delantera de la estructura, cuya finalidad consiste en evitar la ménsula de concreto en el vano, ya que la nariz alcanza la siguiente pila cuando el concreto de la superestructura no ha adquirido suficiente longitud para producir una ley de momentos flexionantes elevada.

El tamaño de la nariz de lanzamiento se plantea económicamente entre el 50 y 60% del claro libre, siendo el primer valor más usual para puentes del ferrocarril y el segundo para puentes carreteros.



a)



b)

FIGURA 5.6

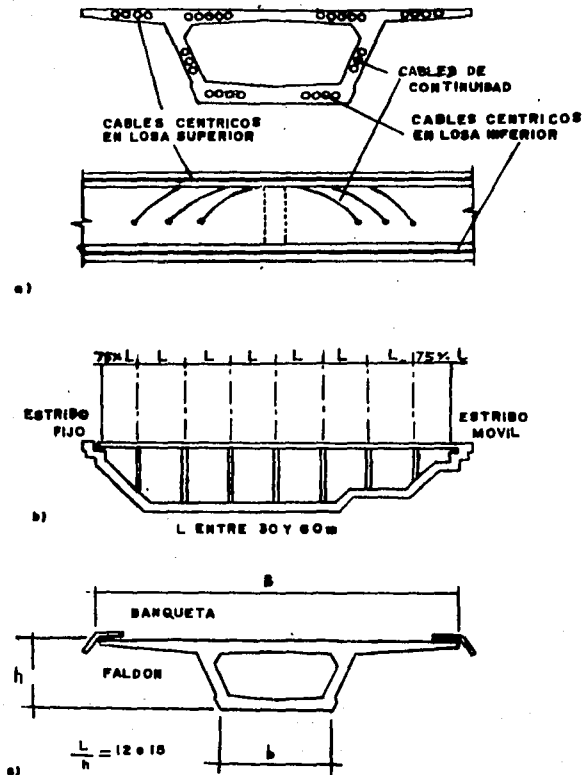


FIGURA 5.7

Los elementos auxiliares para la construcción de un puente por este sistema son:

- Parque de Prefabricación.
- Nariz de lanzamiento.
- Sistema de Empujado.
- Apoyos deslizantes.

#### Parque de Prefabricación

Se compone de tres zonas:

Zona I: La trabe cajón con aletas se fabrica en dos partes, en esta zona se fabrica la parte inferior del cajón o sea la losa de fondo.

Zona II: Se fabrican la parte superior del cajón, o sea las almas y vuelos.

Zona III: Es una transición entre la zona II y el estribo de empuje, cuyo objeto es que el puente tenga suficiente longitud y contrapeso, para que éste no vuelque antes de que la nariz alcance la primera pila.

El tamaño de la dovela y el del molde suele variar entre 15 y 25 m. dependiendo de la longitud total del puente-



si es muy largo, se justificará una longitud de molde y viceversa. Los moldes para las dovelas deberán ser autocolapsables y móviles a fin de facilitar las maniobras de encofrado y desencofrado sistemático en el parque de Prefabricación. Es de importancia la suela metálica en la zona I, que constituye el encofrado inferior del patín, cuya nivelación deberá realizarse con una precisión de 0.50 a 1.00 mm.

Este patín servirá para deslizar el puente, sobre los apoyos y cuanto mayor sea el error en la nivelación, mayor será la fuerza de empuje necesaria por el incremento de rozamiento. Figuras 5.8 y 5.9

#### Nariz de Lanzamiento

Es una estructura metálica normal, que puede estar fabricada como una unidad completa o fabricada en varias secciones para el fácil transporte a la obra, si es este el caso deberá unirse "in situ" con tornillos calibrados o con soldadura que garantice ningún movimiento relativo entre las secciones. El patín inferior de las vigas metálicas debe ser previsto, en su parte exterior, de una ala vertical que sirva de encarrilador del puente sobre los topes laterales de los apoyos deslizantes.

En la parte delantera de la nariz, en la zona de apro

## PARQUE DE PREFABRICACION

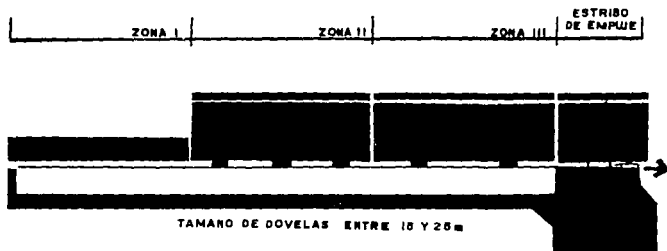


FIGURA 5.8

## MOLDES PARA PREFABRICADOS

SUELA DE CORRIMIENTO  
FIJA, PRECISION  
EN NIVELACION  
0.5 a 1 mm

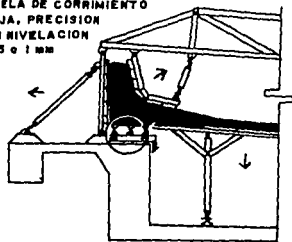
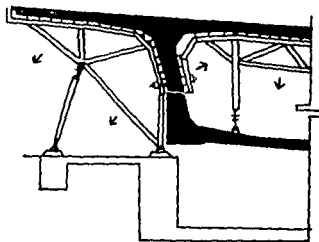
MOLDES AUTOCOLAPSABLES  
ZONA IMOLDES AUTOCOLAPSABLES  
ZONA II

FIGURA 5.9

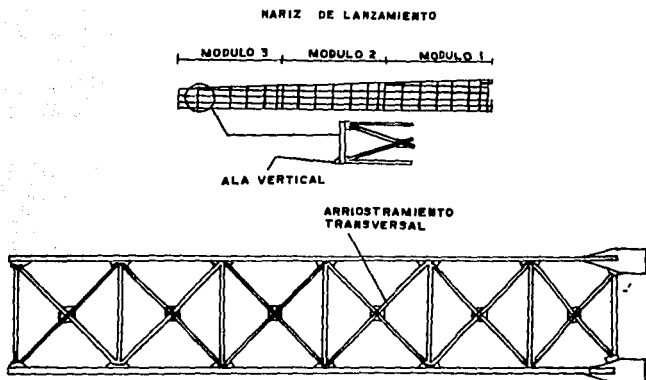


FIGURA 5.10

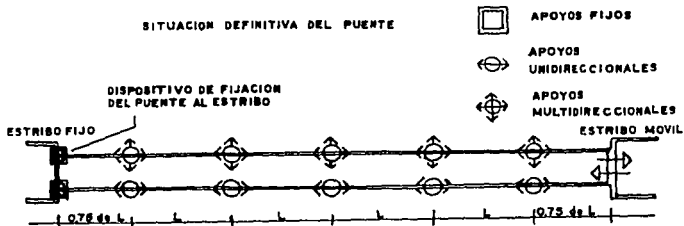


FIGURA 5.11

ximación a las pilas, se instalan unos gatos especiales, cuyo objeto es recuperar la flecha de peso propio que toma la ménsula al llegar a la pila. En la parte trasera se efectúa la unión de la nariz con el concreto de la superestructura. Esa unión debe ser capaz de transmitir la flexión y el cortante producido por la reacción de la pila en la nariz.

La flexión es de dos tipos: Flexión negativa, que corresponde al peso propio de la nariz y que es la más pequeña. Flexión positiva, que corresponde a la reacción de la pila y que es la más importante. Ambas flexiones se toman con presfuerzo a la superestructura. El cortante se transmite a través de los dientes de concreto dejados en la nariz y la superestructura.

#### Sistema de Empujado

Los equipos modernos de empuje se componen de un cilindro vertical que levanta el puente, acoplado a otros cilindros horizontales que lo empujan, el cilindro vertical asciende de 4 ó 5 mm. con lo que recibe una gran carga vertical y en consecuencia transmite una carga horizontal por el rozamiento que existe con el concreto.

Se ponen en marcha los cilindros horizontales que em-

pujan hacia adelante movilizándolo al conjunto cilindro vertical más puente, del orden de 25 cm. Al terminar este ciclo - el cilindro vertical desciende, se libera del puente y el conjunto horizontal se retrae llevando consigo al cilindro vertical.

Este ciclo tarda aproximadamente 2.50 minutos y el lanzamiento de una dovela de 20 m. para el puente sería del orden de 3 horas. El equipo de lanzamiento permite además mover el puente hacia adelante, regresarlo a voluntad. Esta operación complementaria es indispensable en la ejecución de la obra, para poder corregir ciertos errores en el alineamiento, al aproximar la nariz a las pilas, cuando alguna almohadilla es insertada en forma inversa, etc.

#### Apoyos Deslizantes

En todos los puntos donde el puente se apoya, ya sean pilas, estribos y la Zona III, en el parque de prefabricación se dispone de apoyos deslizantes. Estos apoyos están formados por un bloque de concreto armado de 15 a 35 cm de espesor y perfectamente nivelado, sobre el que se asienta una chapa de acero inoxidable especial tensado, sobre esta chapa se disponen unas almohadillas de neopreno-teflón de 10 a 13 mm. de espesor. La parte de neopreno va en contacto con el concreto -

de la losa inferior y la de teflón con el acero inoxidable. -  
En su movimiento, el puente arrastra la almohadilla hacia adelante y es introducida de nuevo por detrás.

Lateralmente se prevee en el apoyo una gufa lateral para encarrilar al puente en su movimiento longitudinal.

Una vez que el proceso de lanzamiento ha terminado se levanta el puente con gatos especiales de tamaño reducido, apoyados en unos nichos en la parte superior de las pilas y se sustituyen los apoyos provisionales por los definitivos.

#### Situación definitiva del Puente

En operación el puente será una estructura continua, libremente apoyada sobre pilas y estribos, con dos restricciones básicamente, una longitudinal y otra transversal. La restricción longitudinal se hará fijando el puente al estribo, normalmente al de empuje, por comodidad y economía.

La fijación tendrá como objetivo transmitir al terreno las fuerzas actuantes longitudinales, como sismo, Frenaje y deformaciones por temperatura, de allí que se deberá revi-

sar el estribo en cuestión para soportar estas solicitaciones, o bien mediante algún artificio adicional complementar su capacidad. En forma práctica esto se resuelve mediante un sistema de anclas presforzadas que fijan el estribo al terreno natural aumentando su capacidad.

La restricción transversal tiene por objeto impedir - que la estructura se desplace en esa dirección, básicamente - por las acciones de viento y sismo. Esta restricción se logra mediante guías laterales integradas en los apoyos definitivos. A estos apoyos se les denomina unidireccionales, ya que permiten el movimiento longitudinal del puente, para no inducir momentos a las pilas y restringen el movimiento transversal. Figura 5.11.

VI  
CONCLUSIONES

De lo visto sobre la prefabricación de vigas se determina que esta nueva forma de construir manifiesta en su conjunto el aprovechamiento racional de los materiales primarios (concreto y acero) del fin de siglo, los cuales satisfacen las necesidades del ser humano, acordes al actual nivel de vida y a una creciente tecnología.

De ello las construcciones nacidas con las exigencias plásticas, formal, estética y estructural que reclama el desarrollo del hombre.

El impulso de la prefabricación se ha dirigido desde el punto de vista social y económico; su implantación se refleja en la urbanización y el arte moderno como un parámetro indicativo del avance adquirido.

Por lo que respecta a la industria de la construcción en general, podemos afirmar que es tradicionalista y ligada con propiedad a la naturaleza en mayor grado que otras industrias, con un orden de ideas distintas por lo que los cambios requeridos como la prefabricación sugieren que la normalización se torne a nivel mundial dentro de una cultura universal de trazos y formas arquitectónicas sin atentar necesariamente



con la tradición regional enclave de un país, y así reforzar lo antiguo y lo moderno con una riqueza de formas variadas - y extensas.

México no se excluye de los despliegues prominentes- de la construcción, y la prefabricación es un hecho palpable que no se puede ignorar, su vasto campo de acción representa un interés especial en nuestro presente y las vigas presforzadas como parte de esta variedad constructiva marcan un cam bio importante por su estado versátil y funcional. Las venta jas implícitas en ellas son muchas y ya se han señalado y ex plicado algunas.

Lo novedoso ocurre en cuestiones tales como el avance de obra por que el montaje, en edificación por ejemplo, - se puede realizar a la par de otras actividades sin perjudicar a la obra misma.

La linealidad y capacidad de carga les ha permitido- librar, hoy día, obstáculos indispensables de superar en - vías de comunicación (puentes, tuneles, etc...) y en espa- - cios cerrados (centros comerciales, auditorios, estadios, - etc...).

Por otra parte, las vigas fabricadas sin presfuerzo,

limitadas más a la ornamentación y al soporte de cargas relativamente bajas en comparación con las fabricadas de pre fuerzo no se restan en importancia y la diferencia registrada en la utilización, volumen y cantidad de unas con respecto a otras no transtorna el mercado correspondiente y si estima la calidad y ventajas alcanzadas por ambas categorías.

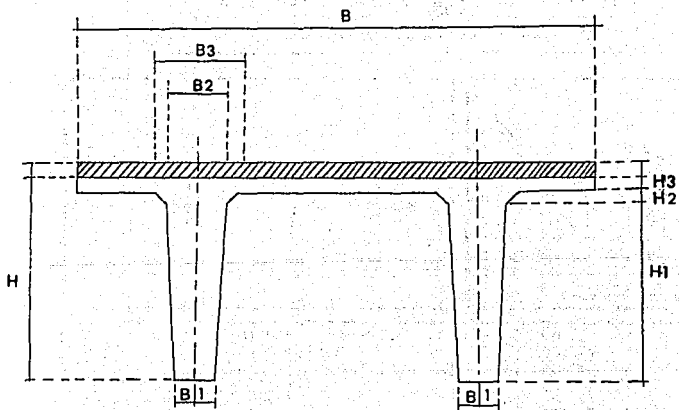
La electrónica tomando parte también en este crecimiento ha permitido que las vigas se fabriquen de una manera menos compleja, más ordenada, directa y determinante en la calidad y su terminación. Con ello nos referimos, por su puesto, específicamente a las computadoras que se vuelven in dispensables en todos los campos del quehacer humano; y la construcción sin ser la excepción se aprovecha de tal suceso para conseguir mejores perspectivas creativas.

Debido a lo extenso del tema y porque la finalidad de este trabajo se orientó básicamente en destacar las cualidades y ventajas de las vigas prefabricadas y presforzadas. No fue posible dedicar un espacio a esta rama de la técnica moderna, concretamente refiriéndonos al software o programas aplicados al área de la prefabricación. Motivo que no desprecia de ninguna manera su importancia presente, y si en cambio podemos añadir que la disposición con la que se manejan-

los programas en la fabricación revela la esencia de un futuro prometedor con el avance subsecuente en la manipulación de los materiales con tendencias a adquirir formas y dimensiones sin paralelo supeditadas solo en la imaginación y capacidad del diseñador.

# A N E X O

**VIGAS PREFABRICADAS**



MU = MOMENTO ULTIMO EN TON -M  
 B = ANCHO TOTAL DE LA SECCION  
 H = PERALTE TOTAL DE LA SECCION  
 Yi = DISTANCIA DE LA FIBRA INFERIOR  
 AL CENTROIDE  
 Ys = DISTANCIA DE LA FIBRA SUPERIOR  
 AL CENTROIDE  
 Si = MODULO DE SECCION INFERIOR  
 Ss = MODULO DE SECCION SUPERIOR  
 I = MOMENTO DE INERCIA  
 P.P. = PESO PROPIO EN KG./M





ELEMENTO

LOSA TT

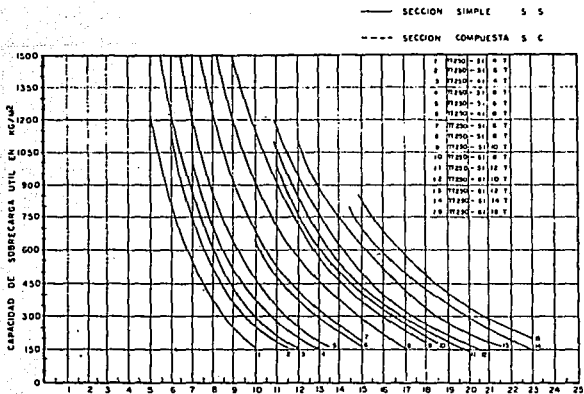
No. 3

SECCION SIMPLE

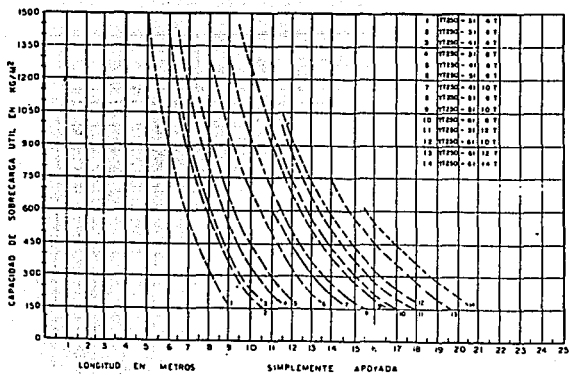
SECCION COMPUESTA

USO

CUBIERTAS, ENTREPISOS, FACHADAS, PASOS PEATONALES, ETC.







ELEMENTO

LOSA TT

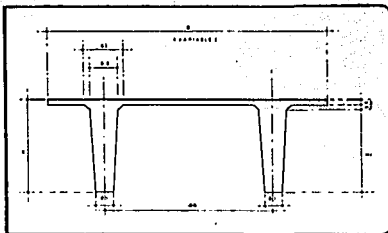
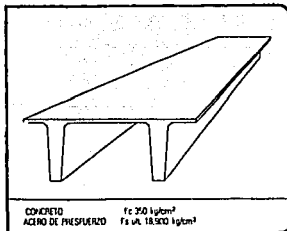
No. 5

SECCION SIMPLE

SECCION COMPUESTA

USO

CUBIERTAS, ENTREPISOS, FACHADAS, PASOS PEATONALES, ETC.

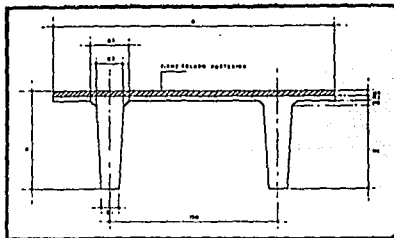
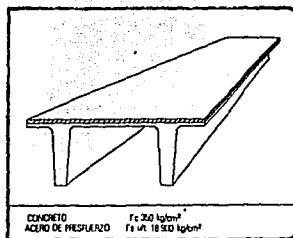


## PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION

TIPO	MU 10m m.	B	b1	BASE			h	ALTURA				Xc	Yc	SECCION	Sx	Sy	I	P.P.
				b2	b3		h1	h2	h3	h4	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	kg/m	
250/40		250	108	160	260	420	300	50	50	-	29.4	10.6	2204	9205	27519	291864	475	
250/50		250	90	160	260	500	430	50	50	-	36.7	12.3	2460	13806	37919	500264	590	
250/60		250	102	160	260	600	500	50	50	-	42.6	17.3	2710	21004	51565	815593	665	
250/70		250	90	160	260	700	600	50	50	-	49.6	20.4	2566	26241	63705	1301173	710	
250/80		250	162	250	350	800	700	50	50	-	51.1	28.9	4436	52226	93644	2711023	1075	
250/90		250	150	250	350	900	800	50	50	-	57.4	32.6	4750	63218	111516	3631128	1140	
300/40		300	108	160	260	420	300	50	50	-	30.2	9.8	2514	10166	31384	307144	602	
300/50		300	90	160	260	500	430	50	50	-	37.7	12.3	2710	14109	42757	533402	650	
300/60		300	102	160	260	600	500	50	50	-	43.9	16.1	3020	21592	56731	545160	725	
300/70		300	90	160	260	700	600	50	50	-	51.0	19.0	3210	26551	72246	1325166	770	
300/80		300	162	250	350	800	700	50	50	-	52.5	27.5	4668	4743	64715	2812187	1175	
300/90		300	150	250	350	900	800	50	50	-	58.9	31.1	4832	55246	29643	3642275	1250	

ELEMENTO	LOSA TT		
SECCION SIMPLE		SECCION COMPUESTA	
USO	CUBIERTAS, ENTREPISOS, Puentes, PASOS PEATONALES, ETC.		

Nº. 6

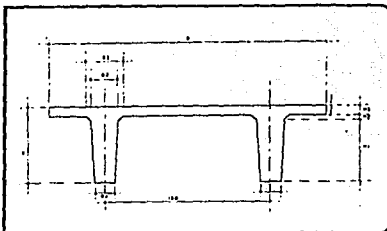
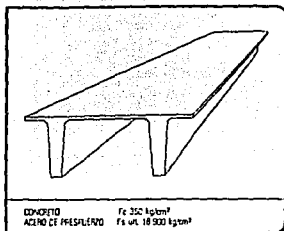


PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION

TIPO	Mu ton m	B	b1	b2	b3	H	h1	h2	h3	M	T <sub>1</sub> cm	V <sub>1</sub> cm	S <sub>1</sub> (10M) cm <sup>3</sup>	S <sub>1</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>1</sub> cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	P.P. kg/m
250/40		250	108	160	26.0	45.0	30.0	5.0	5.0	5	34.1	10.9	3514	12636	29256	437507	843
250/50		250	90	160	26.0	56.0	40.0	5.0	5.0	5	48.0	13.0	3710	17660	55136	716565	830
250/60		250	102	160	26.0	66.0	50.0	5.0	5.0	5	48.8	16.2	4200	25361	76485	1237973	965
250/70		250	80	160	26.0	75.0	60.0	5.0	5.0	5	56.4	18.6	4710	31316	94835	1769672	1010
250/80		250	162	25.0	36.0	85.0	70.0	5.0	5.0	5	58.0	27.0	5681	63214	126767	3179281	1365
250/90		250	150	25.0	25.0	95.0	80.0	5.0	5.0	5	64.7	30.3	6000	74315	160001	4870229	1440
300/40		300	108	160	26.0	45.0	30.0	5.0	5.0	5	34.8	10.2	4014	12989	44343	452395	963
300/50		300	90	160	26.0	56.0	40.0	5.0	5.0	5	43.0	12.0	4210	17425	62167	748766	1010
300/60		300	102	160	26.0	66.0	50.0	5.0	5.0	5	50.0	15.0	4570	25029	86817	1297780	1065
300/70		300	80	160	26.0	75.0	60.0	5.0	5.0	5	57.8	17.2	4710	32029	107886	1852725	1137
300/80		300	162.25	25.0	36.0	85.0	70.0	5.0	5.0	5	59.8	25.2	6187	65215	154733	3897747	1485
300/90		300	150	25.0	26.0	95.0	80.0	5.0	5.0	5	66.7	28.3	6600	77210	181846	5149817	1500

ELEMENTO	LOSA TT	
SECCION SIMPLE		SECCION COMPUESTA
USO	CUBIERTAS, ENTREPISOS, FACHADAS, PASOS PEATONALES, ETC.	

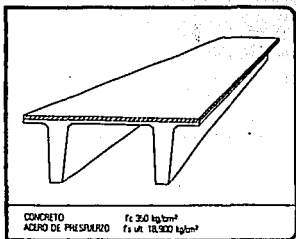
No. 7



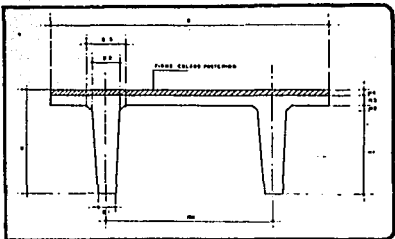
PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION																	
T.P.O	MU cm.cm	BASE				ALTURA				SECCION							
		B	b1	b2	b3	H	h1	h2	h3	h4	S <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>			
25045		250	108	160	260	450	320	50	100	-	34.1	10.9	2514	179.6	29556	432507	843
25055		250	90	160	260	550	400	50	100	-	42.0	13.0	3110	170.0	55136	718565	850
25065		250	102	160	260	650	500	50	100	-	48.8	16.2	4320	25361	76439	1237973	955
25075		250	90	160	260	750	600	50	100	-	56.4	19.6	4710	31316	94835	1762672	1010
25085		250	18.2	250	250	850	700	50	100	-	58.0	27.0	5626	63314	135189	3673541	1365
25095		250	15.0	250	350	950	800	50	100	-	64.7	30.3	6437	74915	162701	4632279	1442
30045		300	108	160	260	450	320	50	100	-	34.8	10.7	4074	179.9	44344	452319	833
30055		300	90	160	260	550	400	50	100	-	42.9	12.1	4710	174.25	62187	748936	1010
30065		300	102	160	260	650	500	50	100	-	50.1	14.9	4320	259.9	68317	1291180	1065
30075		300	9	160	250	750	600	50	100	-	57.8	17.2	4110	32023	107198	1832775	1130
30085		300	15.75	250	250	850	700	50	100	-	59.8	25.2	6198	65215	154729	362747	1485
30095		300	15.0	250	350	950	800	50	100	-	66.7	29.3	6230	7710	181846	5149817	1920

ELEMENTO		LOSA TT	
SECCION SIMPLE		SECCION COMPUESTA	
USO CUBIERTAS, ENTREPISOS, PUENTES, PASOS PEATONALES, ETC.			

No. 8

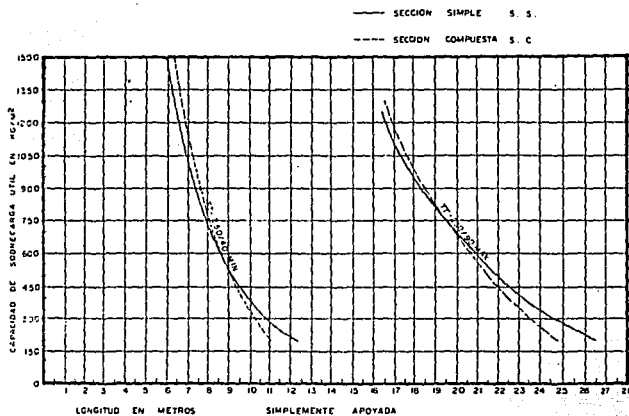


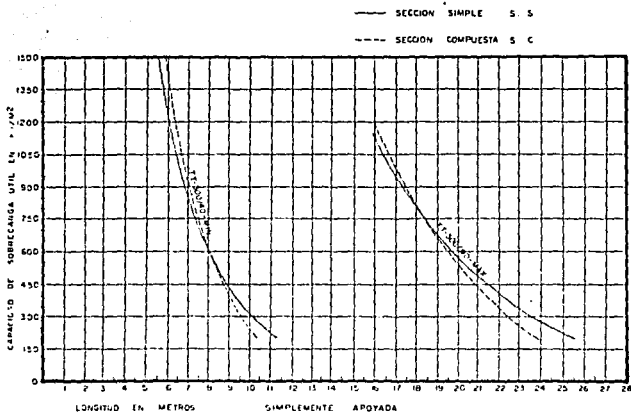
CONCRETO  $f_c$  360 kg/cm<sup>2</sup>  
 ACERO DE PRESURADO  $f_s$  ut 18,500 kg/cm<sup>2</sup>



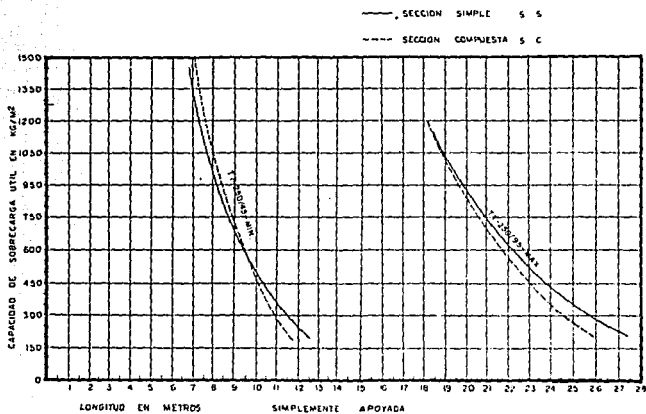
PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION																
TIPO	MU ton m	BASE				ALTURA				Y <sub>1</sub> cm	Y <sub>2</sub> cm	SECCION cm <sup>2</sup>	S <sub>1</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>2</sub> cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	I p. kg/m
		b	b1	b2	b3	H	h1	h2	h3							
250/50	250	90	160	260	56	35	50	100	5	37.6	12.4	4764	16032	48473	801519	1143
250/60	250	102	160	260	60	45	50	100	5	45.9	14.1	4300	29746	65371	943694	1150
250/70	250	90	160	260	75	55	50	100	5	53.3	16.7	5270	29551	57900	1577402	1205
250/80	250	162	250	350	85	65	50	100	5	61.2	18.8	5460	35906	117224	2191729	1310
250/90	250	150	250	350	95	75	50	100	5	63.3	26.7	6638	72126	171270	4544267	1625
250/100	250	162	250	350	105	85	50	100	5	70.4	29.6	7250	84711	201789	5062651	1740
300/50	300	90	160	260	56	35	50	100	5	26.3	11.7	5614	16439	53757	631700	1323
300/60	300	102	160	260	60	45	50	100	5	46.8	13.2	5710	21081	74578	986958	1370
300/70	300	90	160	260	75	55	50	100	5	54.4	15.6	6020	30217	108305	1547396	1645
300/80	300	162	250	350	85	65	50	100	5	62.6	17.4	6210	36692	131925	2286149	1450
300/90	300	150	250	350	95	75	50	100	5	65.2	24.8	7688	74005	194758	4023370	1845
300/100	300	162	250	350	105	85	50	100	5	72.5	27.5	8000	87067	229120	6300156	1920

ELEMENTO	LOSA TT
SECCION SIMPLE	SECCION COMPUESTA
USO	CUBIERTAS, ENTREPISOS, Puentes, PASOS PEATONALES, ETC.

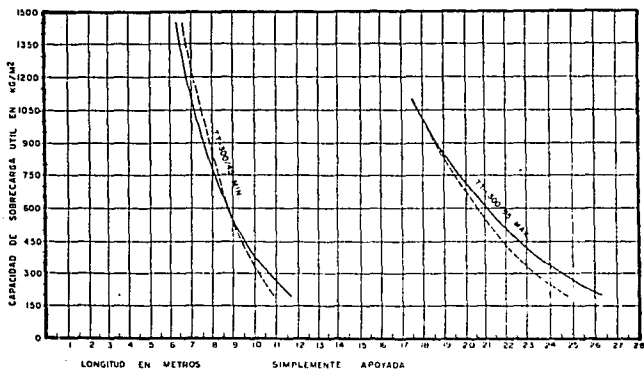




ELEMENTO	LOSA TT
SECCION SIMPLE	SECCION COMPUESTA
USO	CUBIERTAS, ENTREPISOS, FACHADAS, PASOS PEATONALES, ETC.





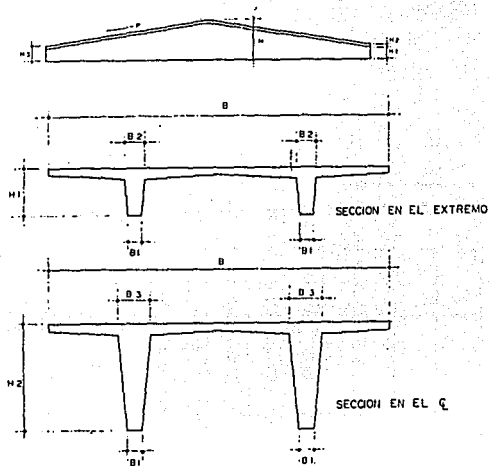


ELEMENTO T T DE PERALTE VARIABLE

No. 13

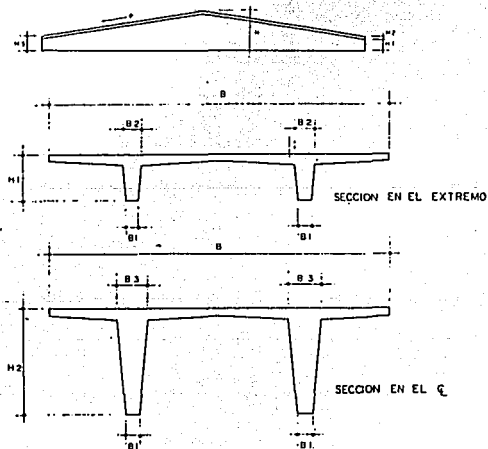
SECCION SIMPLE SECCION COMPUESTA

USO CUBIERTAS.



CODA TT PERALTE VARIABLE	LONG EN M.	ANCHO BASE NERV. b1	ANCHO SUPERIOR NERV. EN CM.		B	PERALTE		AREA Cm <sup>2</sup>		PESO PROPIO PROM. KG/M <sup>2</sup>
			EXTREMO	☉		EXTREMO	☉			
			b2	b3		h1	h2	A1	A2	
300/4.5	6	6.0	9.62	18.0	300	4.5	64	1700.0	2099	-
300/6.4	12	6.0	9.62	18.0	300	4.5	83	1700	2562	168
300/8.3	16	6.0	9.62	18.0	300	4.5	102	1700	3088	185
300/10.2	24	6.0	9.62	18.0	300	4.5	121	1700	3678	205
300/12.1	30	6.0	9.62	18.0	300	4.5	140	1700	4332	510
300/14.0	36	6.0	9.62	18.0	300	4.5	159	1700	5207	-

ELEMENTO	T T DE PERALTE VARIABLE		No. 14
SECCION SIMPLE		SECCION COMPUESTA	
USO	CUBIERTAS.		



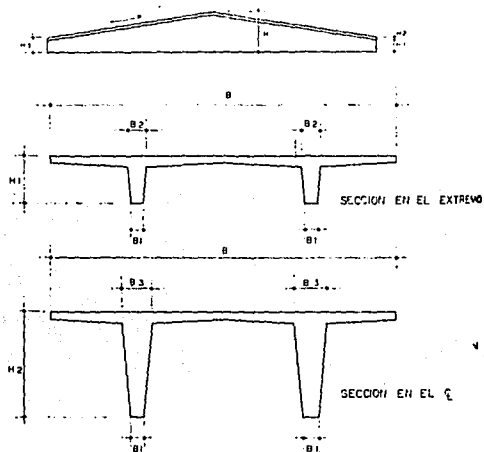
LOSA TT PERALTE VARIABLE	LONG. EN M.	ANCHO BASE NERV. b1	ANCHO SUPERIOR NERV. EN CM.		B	PERALTE		AREA Cm <sup>2</sup>		PESO PROPIO PROM. KG/M <sup>2</sup>
			EXTREMO	☐		EXTREMO	☐	EXTREMO	- ☐	
			b2	b3		h1	h2	A1	A2	
300/90	22	9	11.1	20	300	21.9	90	2150	4250	245
300/105	25	9	11.6	22	300	26.9	105	2250	4875	275

ELEMENTO T T DE PERALTE VARIABLE

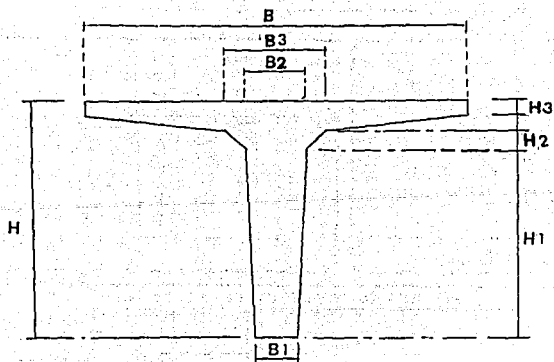
No. 15

SECCION SIMPLE SECCION COMPUESTA

USO CUBIERTAS.



LOSA TT PERALTE VARIABLE	LONG EN M.	ANCHO BASE NERV. $b_1$	ANCHO SUPERIOR NERV EN CM.		B	PERALTE		AREA $Cm^2$		PESO PROPIO KG/M <sup>2</sup>
			EXTREMO	C		EXTREMO	C	EXTREMO	C	
			$b_2$	$b_3$		$h_1$	$h_2$	$A_1$	$A_2$	
300/75	12.00	9.0	12.7	17.3	300	37.5	75.0	2,543	3,623	247
300/75	15.00	9.0	11.6	17.3	300	28.1	75.0	2,358	3,623	235
300/85	21.00	9.0	12.0	20.0	300	30.0	85.0	2,307	4,102	256
300/105	25.00	9.0	11.5	21.3	300	27.0	105.0	2,233	4,040	251
300/120	30.00	9.0	13.4	25.1	300	42.5	136.2	2,622	6,256	355



**MU** = MOMENTO ULTIMO EN TON -M  
**B** = ANCHO TOTAL DE LA SECCION  
**H** = PERALTE TOTAL DE LA SECCION  
**Y<sub>i</sub>** = DISTANCIA DE LA FIBRA INFERIOR  
AL CENTROIDE  
**Y<sub>s</sub>** = DISTANCIA DE LA FIBRA SUPERIOR  
AL CENTROIDE  
**S<sub>i</sub>** = MODULO DE SECCION INFERIOR  
**S<sub>s</sub>** = MODULO DE SECCION SUPERIOR  
**I** = MOMENTO DE INERCIA  
**P.P.** = PESO PROPIO EN KG./M

ELEMENTO

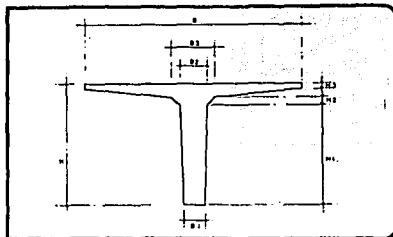
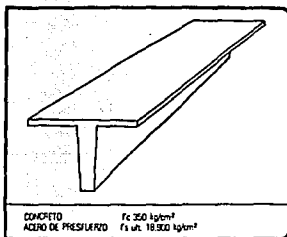
TRABE "T"

No. 16

SECCION SIMPLE

SECCION COMPUESTA

USO

ENTREPISOS, CUBIERTAS, MUROS DE FACHADA,  
PASOS PEATONALES, PUENTES, ETC.

## PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION

TIPO	MU 10m m	B	BASE			ALTURA				Y1	Y2	S1 (SECCION)	S2	S3	I	P.P. kg/m	
			b1	b2	b3	H	h1	h2	h3	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	
100/60		100	20.0	23.0	29.0	60	47.0	8.0	5.0	-	36.8	22.2	1905	18132	28676	603468	457
100/80		100	20.0	23.4	3.4	80	67.0	8.0	5.0	-	46.0	32.0	2343	30706	45338	1405071	564
100/100		100	20.0	24.0	40.0	100	87.0	8.0	5.0	-	56.1	40.9	2772	45297	65706	2604763	665
100/120		100	20.0	25.0	41.0	120	107.0	8.0	5.0	-	70.2	49.8	3194	67344	95493	4413812	767
150/80		150	20.0	23.0	39.0	80	47.0	8.0	5.0	-	40.0	20.0	2295	19756	39510	720196	549
150/80		150	20.0	23.4	29.4	80	67.0	8.0	5.0	-	51.8	28.2	2734	23413	4143	1731477	656
150/100		150	20.0	24.0	40.0	100	87.0	8.0	5.0	-	63.5	36.5	3159	49666	86279	3143346	758
150/120		150	20.0	25.0	41.0	120	107.0	8.0	5.0	-	75.0	45.0	2510	66326	112915	5126645	850
200/60		200	20.0	23.0	39.0	60	47.0	8.0	5.0	-	42.5	17.5	2762	20812	56638	886658	603
200/80		200	20.0	23.4	39.4	80	67.0	8.0	5.0	-	56.2	24.8	3200	25486	78891	1960068	770
200/100		200	20.0	24.0	40.0	100	87.0	8.0	5.0	-	67.5	32.5	3636	52806	109738	2566577	873
200/120		200	20.0	25.0	41.0	120	107.0	8.0	5.0	-	79.6	40.4	4051	72831	143714	5800291	972

ELEMENTO

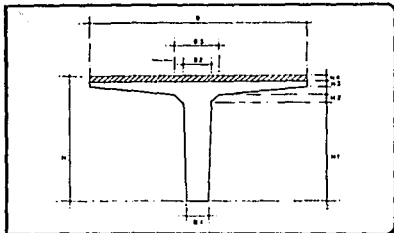
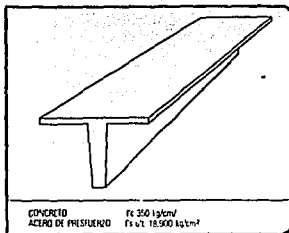
TRABE "T"

No. 37

SECCION SIMPLE

SECCION COMPUESTA

USO

ENTREPIOS, CUBIERTAS, MUROS DE FACHADA,  
PASOS PEATONALES, PUENTES, ETC.

## PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION

TIPO	ANU ton/m	BASE				ALTURA				Y <sub>c</sub> cm	Y <sub>s</sub> cm	SECCION cm <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	P.P. kg/m
		B	b1	b2	b3	H	h1	h2	h3								
10050		100	200	220	250	65	470	80	50	5	41.1	238	2793	21476	33649	878712	548
10380		100	200	224	254	85	670	80	50	5	52.8	327	2727	35216	57630	1857992	854
108100		100	200	240	400	105	670	80	50	5	64.3	407	3150	51463	81422	2311020	756
109720		100	200	250	410	125	1070	80	50	5	75.7	493	3572	75507	106754	5337295	857
16050		150	200	220	250	65	470	80	50	5	44.4	205	2956	23225	49548	1077250	665
15680		150	200	224	254	85	670	80	50	5	57.1	275	3301	38367	71748	2174148	752
159700		150	200	240	400	105	670	80	50	5	69.4	356	3726	55054	102668	3679185	894
150720		150	200	250	410	125	1070	80	50	5	81.5	435	4145	76453	142251	6231407	995
202150		200	200	220	250	65	470	80	50	5	46.8	192	3518	24072	61846	1125100	844
20280		200	200	224	254	85	670	80	50	5	62.4	240	3765	43975	95722	2415273	952
203100		200	200	240	400	105	670	80	50	5	73.6	314	4322	59204	129520	4755078	1054
203720		200	200	250	410	125	1070	80	50	5	86.4	386	4607	80717	186275	6378548	1154

ELEMENTO

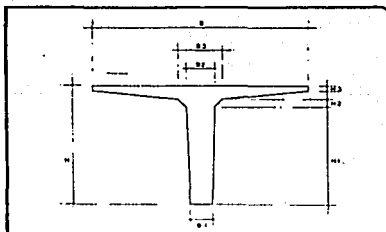
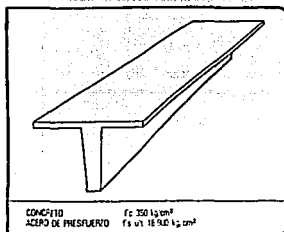
TRABE "T"

No. 18

SECCION SIMPLE

SECCION COMPUESTA

USO

ENTREPISOS, CUBIERTAS, MUROS DE FACHADA,  
PASOS PEATONALES, PUENTES, ETC.

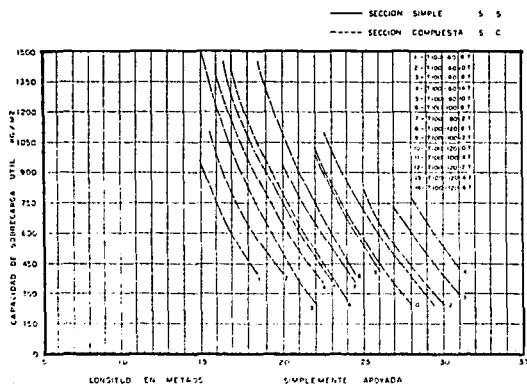
## PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION

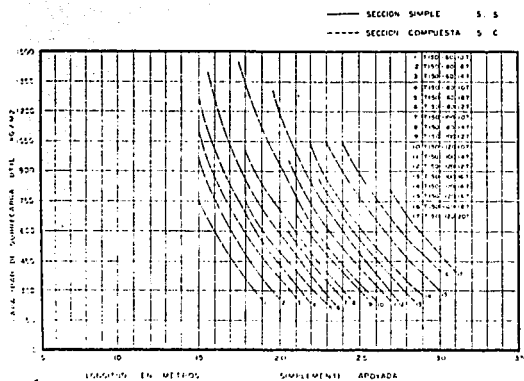
TIPO	MIL ton.m	B	BASE			ALTURA				$Y_c$ cm	$Y_s$ cm	$S_{c(100\%)}^*$ cm <sup>3</sup>	$S_c$ cm <sup>3</sup>	$S_k$ cm <sup>3</sup>	$I$ cm <sup>4</sup>	P.P. kg/m	
			b1	b2	b3	H	h1	h2	h3	h4							
20x50		250	200	230	380	60	410	80	50	-	44.4	15.6	3324	21925	61290	50903	798
20x50		250	200	234	384	80	510	80	50	-	58.0	22.0	3173	26364	53447	214367	988
20x100		250	200	240	400	100	610	80	50	-	71.0	29.0	4202	55375	125513	3331614	1038
20x120		250	200	250	410	120	1010	80	50	-	83.8	36.2	4615	78335	176148	6330365	1108
30x50		300	200	230	390	60	410	80	50	-	45.9	14.1	3317	22195	71983	1012940	964
30x50		300	200	234	394	80	510	80	50	-	60.2	19.8	4427	30952	115660	2732391	1053
30x120		300	200	240	400	100	610	80	50	-	74.0	26.0	4858	51221	142060	4334259	1166
30x120		300	200	250	410	120	1010	80	50	-	87.4	33.6	5256	73115	21227	6759453	1264





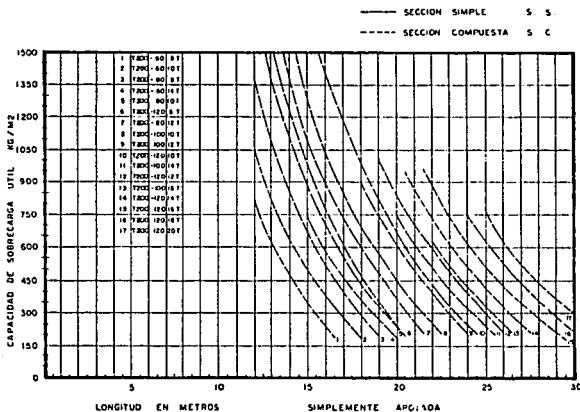
ELEMENTO		TRABE "T"	
SECCION SIMPLE		SECCION COMPUESTA	
USO			
ENTREPISOS, CUBIERTAS, MUROS DE FACHADA, PASOS PEATONALES, PUENTES, ETC.			

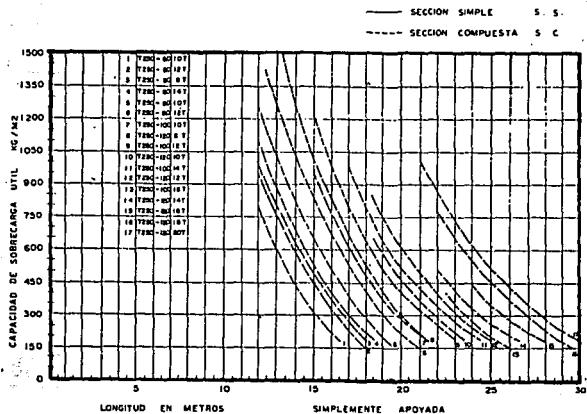




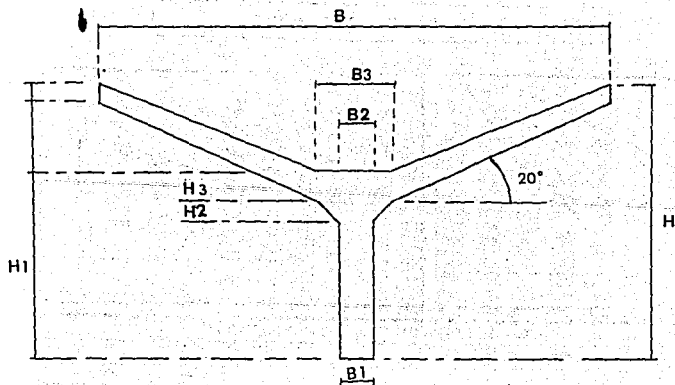
ELEMENTO		TRABE "T"	
SECCION SIMPLE		SECCION COMPUESTA	
USO			
ENTREPISOS, CUBIERTAS, MUROS DE FACHADA, PASOS PEATONALES, PUENTES, ETC.			

No. 22







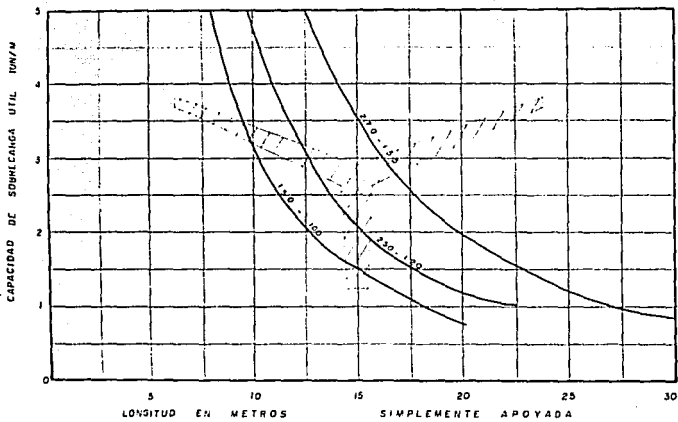


MU = MOMENTO ULTIMO EN TON-M  
 B = ANCHO TOTAL DE LA SECCION  
 H = PERALTE TOTAL DE LA SECCION  
 Yi = DISTANCIA DE LA FIBRA INFERIOR  
 AL CENTROIDE  
 Ys = DISTANCIA DE LA FIBRA SUPERIOR  
 AL CENTROIDE  
 Si = MODULO DE SECCION INFERIOR  
 Ss = MODULO DE SECCION SUPERIOR  
 I = MOMENTO DE INERCIA  
 P.P. = PESO PROPIO EN KG./M





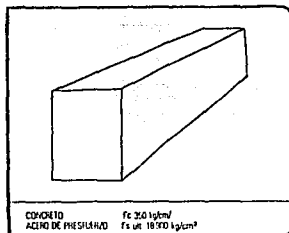
ELEMENTO	T Y
SECCION SIMPLE	SECCION COMPUESTA
USO	ELEMENTOS DE CUBIERTA.



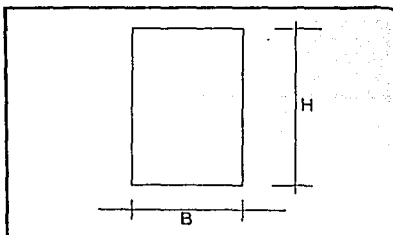
## ELEMENTO TRABES PORTANTES RECTANGULARES

SECCION SIMPLE  SECCION COMPUESTA 

USO ELEMENTO ESTRUCTURAL DE CARGA

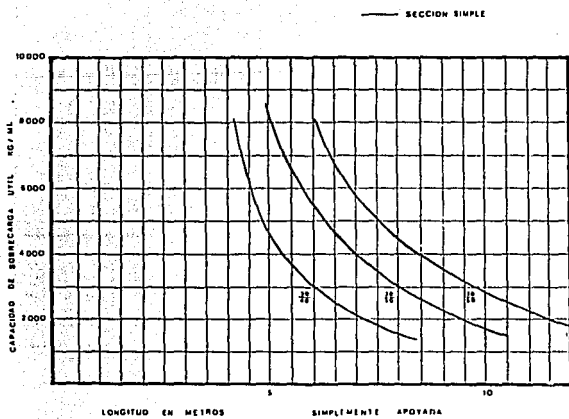


CONCRETO  $f_c = 25 \text{ kg/cm}^2$   
 ACERO DE PRESILADO  $f_s = 18'900 \text{ kg/cm}^2$

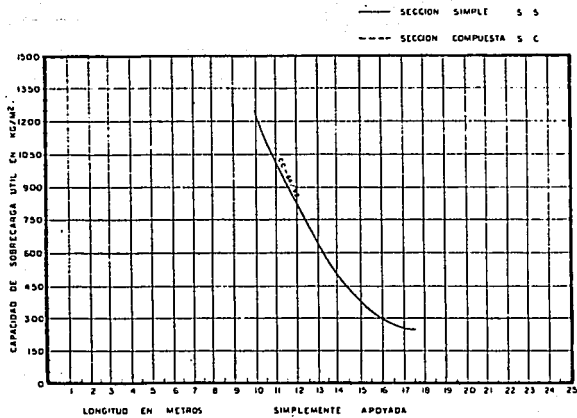


## PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION

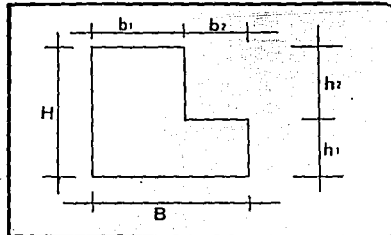
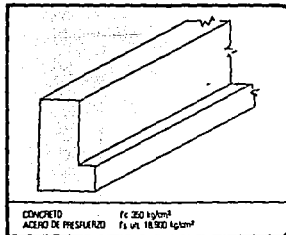
TIPO	MU ton/m	B	BASE			H	AL.TURA				$Y_1$	$Y_2$	SECCION	$S_x$	$S_y$	I	P.P.
		cm	b1	b2	b3	cm	h1	h2	h3	h4	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
30/40		30	-	-	-	40	-	-	-	-	20	20	1'20	8000	8000	160000	288
30/50		30	-	-	-	50	-	-	-	-	25	25	1'60	12'500	12'500	312'500	360
30/60		30	-	-	-	60	-	-	-	-	30	30	1'80	18'000	18'000	540'000	432



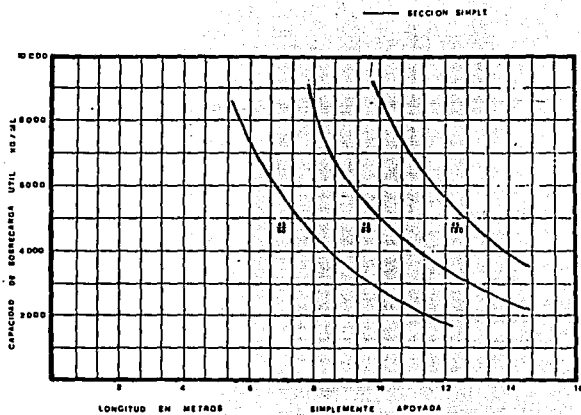




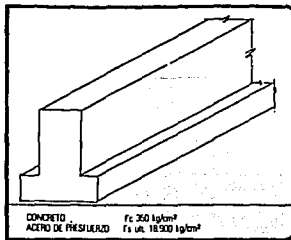
ELEMENTO	TRABE "L"	
SECCION SIMPLE		SECCION COMPUESTA
USO	ELEMENTO ESTRUCTURAL DE CARGA	



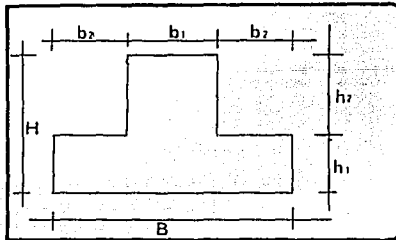
PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION																	
TIPO	Alt ton m.	B	BASE			H	ALTURA				Y <sub>1</sub> cm	Y <sub>2</sub> cm	SECCION cm <sup>2</sup>	S <sub>1</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>2</sub> cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	P.P. kg/m
		b1	b2	b3		h1	h2	h3	h4								
45/60		45	30	15	-	60	30	30	-	-	27	31	2250	24.200	19.800	80.000	540
45/80		45	30	15	-	80	30	50	-	-	36,75	43,95	2850	43.000	35.300	1.520.000	684
45/100		45	30	15	-	100	40	80	-	-	45	55	3000	67.300	55.100	3.020.000	864



ELEMENTO	TRABE PORTANTE "T" INVERTIDA	
SECCION SIMPLE	<input checked="" type="checkbox"/>	SECCION COMPUESTA
USO	ELEMENTO ESTRUCTURAL DE CARGA	



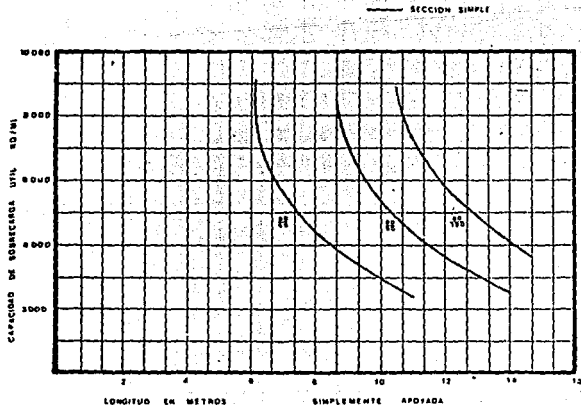
CONCRETO  $f_c$  260 kg/cm<sup>2</sup>  
 ACERO DE REFUERZO  $f_s$  ult. 18'500 kg/cm<sup>2</sup>



PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION

TIPO	MU. 100 cm	E	BASE			H	ALTURA				Y <sub>1</sub> cm	Y <sub>2</sub> cm	SECCION cm <sup>2</sup>	S <sub>1</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>2</sub> cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	P.P. kg cm
			b1	b2	b3		n1	n2	n3	n4							
80/60		60	30	15	-	6	30	30	-	-	75	35	7700	73'700	71'200	743'000	648
80/80		60	30	15	-	80	30	50	-	-	30'18	46'82	7000	52'900	37'500	1'760'000	732
80/100		60	30	15	-	100	40	80	-	-	41'43	58'57	4200	42'800	54'600	3'400'000	1078





ELEMENTO

TRABE AASHTO.

No. 35

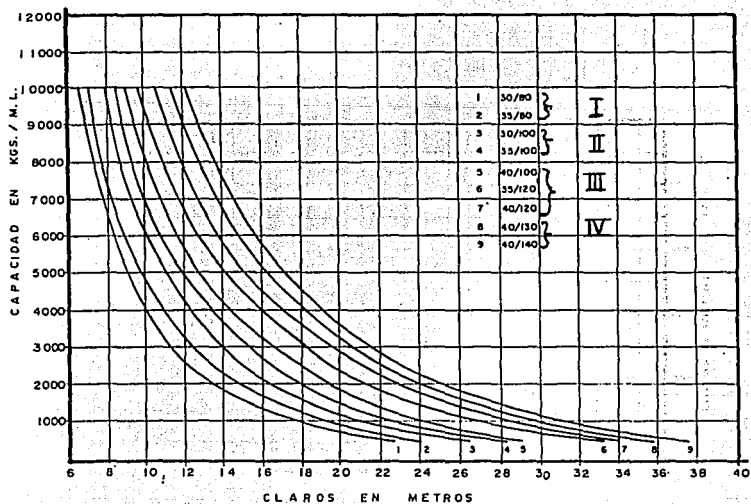
SECCION SIMPLE

SECCION COMPUESTA

USO

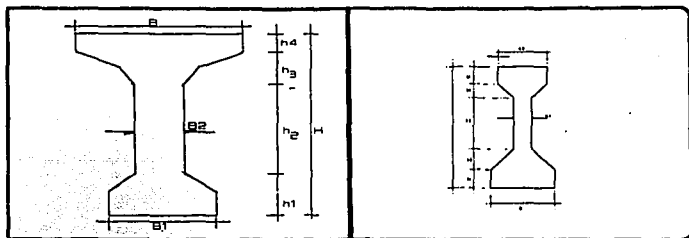
TRABES PARA PUENTES Y TRABES PORTANTES.

## TRABE I

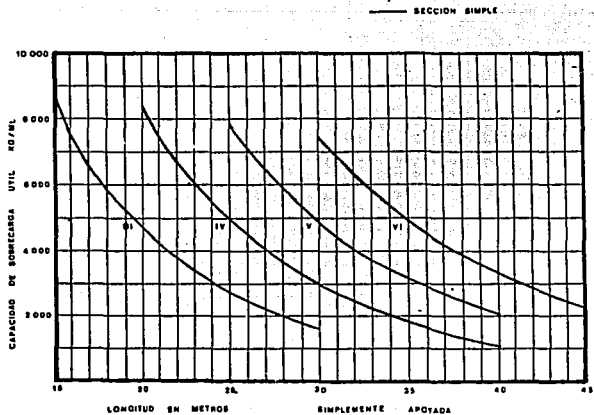


ELEMENTO	TRABE AASHTO.	
SECCION SIMPLE	SECCION COMPUESTA	
USO	TRABES PARA PUENTES Y TRABES PORTANTES.	

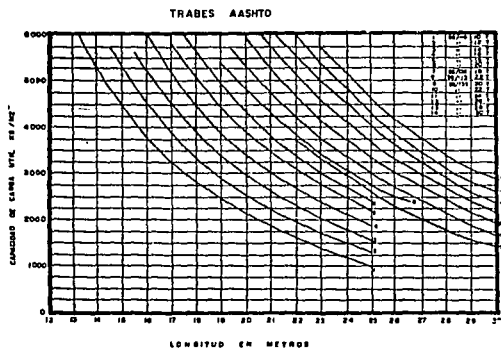
No. 36



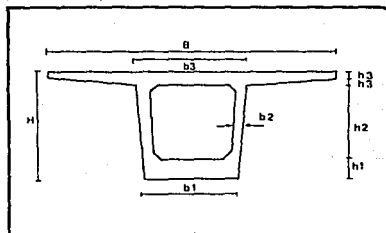
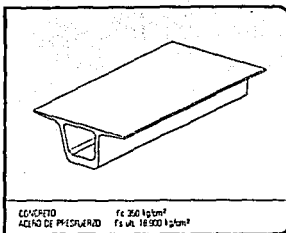
TPO	MLZ ton m	BASE				H	ALTURA				Y <sub>1</sub> cm	Y <sub>2</sub> cm	SECCION				I cm <sup>4</sup>	P.P. kg/m
		B	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>		n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	n <sub>4</sub>			S <sub>1</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>2</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>3</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>4</sub> cm <sup>3</sup>		
56/115		56.0	18.0	41.0	-	115.0	18.0	19.0	48.0	12	52.0	83.0	36.7	10300	8700	536000	810	
66/125		66.0	20.0	50.0	-	125.0	20.0	22.0	57.0	15	61.5	73.5	49.4	16700	14300	1060000	1194	
107/130		107	71	20	-	180	45	84	18	13	81.17	78.82	65.25	267000	275000	21000000	1568	
107/132		107	71	20	-	182	45	107	18	13	82.47	80.53	7600	330000	337000	20500000	1683	



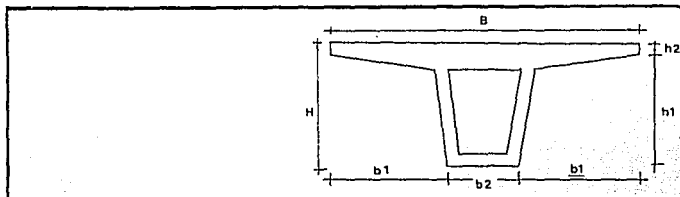





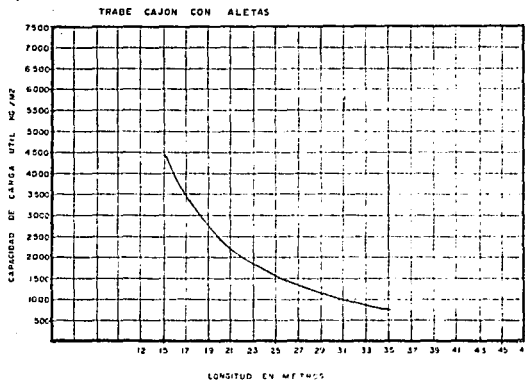
ELEMENTO	TRABE CAJON CON ALETAS.		No. 40
SECCION SIMPLE	<input checked="" type="checkbox"/>	SECCION COMPUESTA	
USO	PUENTES, CARRETERAS, Y EN GENERAL PASOS PLATONALES.		



PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA SECCION																	
TIPO	MU. (kg/m <sup>3</sup> )	BASE				ALTURA				$\gamma_1$	$\gamma_2$	SECCION (cm <sup>2</sup> )	$S_1$ (cm <sup>3</sup> )	$S_2$ (cm <sup>3</sup> )	$I$ (cm <sup>4</sup> )	P.P. (kg/cm)	
		B	b1	b2	b3	H	h1	h2	h3	h4	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	
203/112		200	80.0	8.0	98.0	110.0	70.0	70.0	5.0		49.1	50.9	546	12,700.0	18200.0	930100.0	1316
240/70		240	70	90		170	165	5			82.98	87.41	70.0	376 × 10 <sup>3</sup>	345 × 10 <sup>3</sup>	285 × 10 <sup>4</sup>	1667



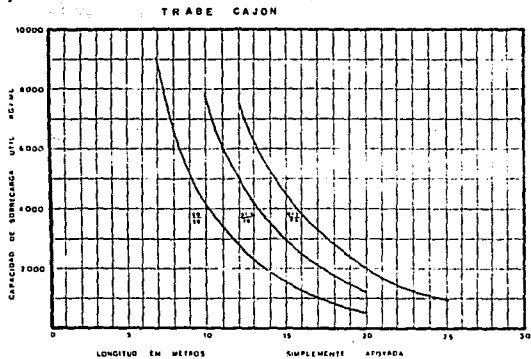
ELEMENTO	TRABE CAJON.	
SECCION SIMPLE		SECCION COMPUESTA
USO	PUENTES, CARRETERAS, Y EN GENERAL PASOS PEATONIALES	







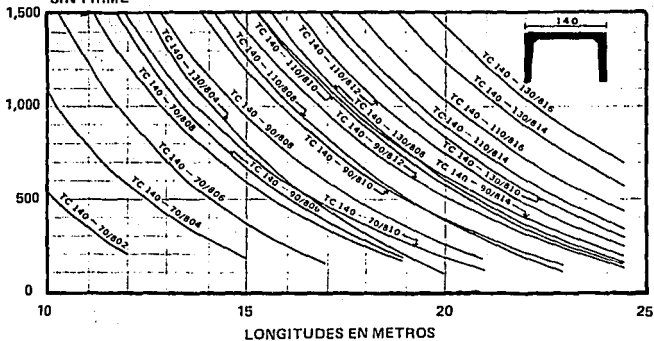




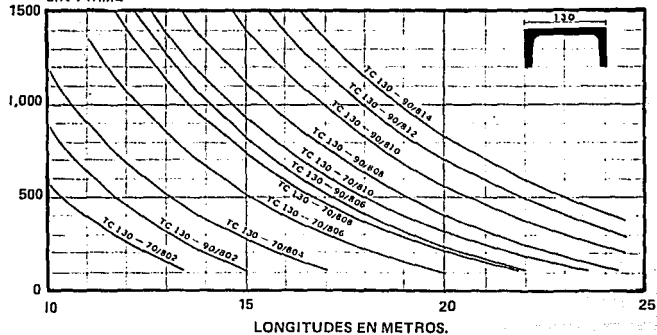


Kg./m<sup>2</sup>

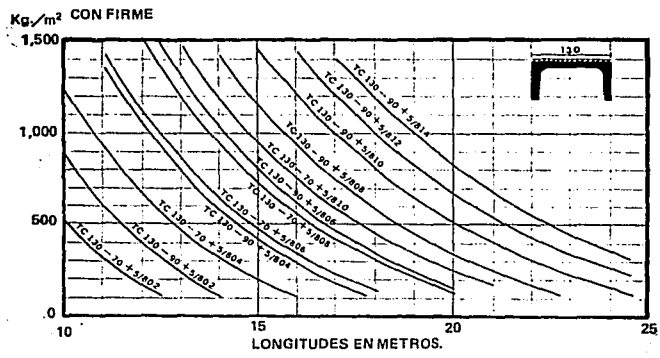
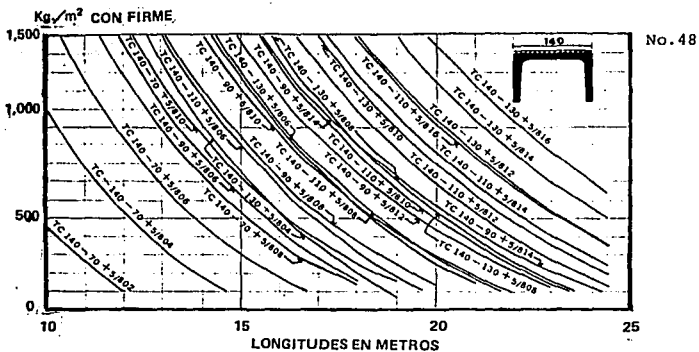
SIN FIRME

Kg./m<sup>2</sup>

SIN FIRME







## B I B L I O G R A F I A

- Allen, Introducción concreto presforzado.
- Asociación Nacional de Industriales del presfuerzo y prefabricación A.C. catálogo de productos ANIPPAC, México, D.F. 1986.
- Branson, Dan E. Diseño de Vigas de Concreto Presforzado, - serie concreto estructural IMCYC, Editorial Abeja S.A. - México, D.F. 1981.
- Den C. Gerwick Jr. Construcción de estructuras de concreto presforzado, edit. Limusa, México 1978.
- Diseño de conexiones de elementos prefabricados de concreto, serie concreto estructural IMCYC, México, D.F.
- Diccionario Larousse de ciencias y técnicas, Editorial Larousse, Marsella 53-esquina Nápoles, México 6, D.F.
- Khachaturian Gufinkel, Concreto Presforzado, Editorial Diana, México, 1979.
- Koncz, Tihamer, Construcciones Prefabricadas (Manual of Precast Concret Construccion), Editorial Blume, Madrid, -



España 1968.

- Larson, T.D. Concretos de Cemento Portlan y Asfálticos. --  
Compañía Editorial Continental, S.A. México, D.F.
- Lin, T.Y. Diseño de Estructuras de Concreto Presforzado, -  
John Wiley and sons, Nueva York, 1963.
- Meyer-Bohe, Walter. Construcciones Prefabricadas. Edito -  
rial Blume. Madrid, España, 1969.
- Rioboo, Ing. José María. Presfuerzo y Prefabricación. Se -  
rie IMCYC. México, D.F.

#### Compañías y/o Constructoras

- Servicios y Sistemas Constructivos, DEL México, D.F.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC.  
Insurgentes Sur # 1846. México, 20 D.F.
- Industrial Prefabricadora, S.A. de C.V. INPRESA, Calz. De-  
sierto de los Leones 4073. C.P. 01060 México, D.F.
- Mexicana de Presfuerzo, S.A. de C.V. MEXPRESA, Periférico-  
Sur 6677-5, C.P. 16018 México, D.F.

- Servicio y Elementos Presforzado, S.A. SEPSA. Av. Nuevo León # 249 P.B. Col. Hipódromo Condesa México, D.F.
- Sistemas Presforzados, S.A. SIPSA, San Lorenzo #167 Col. del Valle. México, D.F.

## INDICE DE PALABRAS

- AASHTO.- Siglas de American Association of state Highway and Transportation Officials (Asociación americana de Carreteras estatales y del transporte oficial).
- ACI.- Siglas de American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto).
- Amortizar.-v.t. Recuperar los Fondos invertidos (dinero).
- ANIPPAC.- Asociación Nacional de Industriales del presfuerzo y Prefabricado A.C.
- ASTM.- Siglas de American Society For testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales).
- Barrilete.-Mar. Especie de nudo complicado que se hace en torno de un cabo o de una pala para evitar que se corran.
- Cable o tendón.- Término que se utiliza para referirse a cualquier tipo de acero de presfuerzo.

Capitel.- M Arq. Parte superior de una columna que soporta el arquitrabe del entablamiento o el arranque de un arco.

Catenaria.-Geom. Curva formada por una cadena, hilo o cable flexible sostenidos por sus extremos y curvados por su propio peso.

Dovela.- f. Elemento estructural o viga prefabricada con una cierta longitud en tramos para formar un conjunto o elemento monolítico.

Encofrado.-m. constr. Molde de madera o metálico de cerraduras que sirve para dar forma al concreto y contenerlo hasta que fragüe.

Eslinga.- f. cuerda o cadena, provista de guardacabos o ganchos, que se usa para abrazar o enganchar las cosas pesadas que se cargan o descargan la grúa.

Estribo.- m. Arq. Macizo de fábrica que soporta el peso y el empuje lateral de una bóveda, de un arco o (en este caso) una estructura prefabricada. II.- Herraje en forma de U, a modo de abrazadera es útil para la armadura de una estructura de concreto.

Fabricación.- Ind. Transformar las materias primarias en productos de características definidas o en objetos-construidos en grandes cantidades para satisfacer las necesidades del mercado.

Fraguado.- m. constr. Endurecimiento de los morteros, concretos y otros aglomerantes.

Gálido.- m. fc. Calibre en forma de herradura que se suspende encima de un medio de transporte para comprobar si este puede pasar por los puentes, túneles y otros accidentes de la carretera, también de acuerdo a su longitud.

Insumos.- m. Factor de producción, bienes empleados en la producción de otros bienes.

Jácena.- F. Arq. Viga maestra en que se apoyan las vigas secundarias en locales de mucha Luz (espacio).

Lastre.- m. Peso que se pone en el fondo de una embarcación o vehículo para facilitar su conducción.

mortero.- m. Constr. Aglomerante que se obtiene amasando cemento o cal con arena y agua.

- NOM.- Siglas de Normas Oficiales Mexicanas.
- Plafón.- Techo liso o sin vigas aparentes.
- Shed.- m. Arq. cubierta de dientes de sierra.
- Torón.- m. conjunto de alambres individuales, que envuelvan a uno.
- Vano.- m. Arq. Hueco entre dos vigas.
- Viga compuesta.- m. Elemento prefabricado y/o presforzado al que posteriormente se le coloca un firme de concreto.
- Vigueta.- F. viga pequeña, II Arq. cada una de las vigas - sobre las cuales se aplica el forjado o entarimado del suelo.