

20
28.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Estudios Superiores
Acatlán**



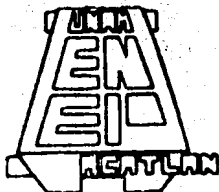
**La prefabricación y el preesfuerzo
en la
Industria de la construcción**

T E S I S

**Que para Obtener el Título de:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

NORMA NUÑEZ GONZALEZ





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 "ACATLAN"
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MEXICO

CI/101/1987.

SRITA. NORMA NUÑEZ GONZALEZ
Alumna de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e .

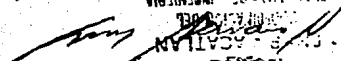
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 29 de noviembre de 1983, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignar le el siguiente tema de tesis: "La Prefabricación y el Presfuerzo en la Industria de la Construcción", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades.
- II.- Elección de Tipo.
- III.- Consideraciones Generales de Diseño.
- IV.- Procedimiento Constructivo.
- Conclusiones.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Sergio Arjona Prieto de la Torre.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e ,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlán, Edo. de México, 2 de junio de 1987.


ING. HERMENEGILDO A. SERRANO
Coordinador del Programa de
Ingeniería.



HAS*PGG/rcm.

INTRODUCCION

En nuestro país la Industria de la Construcción, es una fuente de trabajo que en la actualidad es el medio de vida de -- doscientos cincuenta mil mexicanos, aproximadamente.

Por otra parte, hemos alcanzado un gran desarrollo en la construcción de obras de tipo civil, como son: Presas, Carreteras, Puentes, etc., por tal motivo desde hace ya varios -- años se ha exportado tecnología a otros países del mundo que la han solicitado, contribuyendo de esta manera al desarrollo del país, ya que se ha podido establecer una mejor comunicación entre los puntos más lejanos del territorio, sin olvidar que permiten satisfacer las necesidades más esenciales de los principales centros de población e industriales. De tal manera que, dentro de la industria de la construcción el uso del acero de preesfuerzo (acero duro) aunado a los elementos prefabricados de concreto armado, (o sea, elementos prefabricados-preesforzados) han permitido desarrollar una nueva técnica que trae consigo avance para la construcción, no solamente en los aspectos de reducción de costos, de mano de obra, materiales y tiempo, sino también en la superación del elemento humano, ya que el uso cada día mayor de elementos prefabricados-preesforzados implica mayor mano de obra especializada y lógicamente se induce a una mejoría tanto -- económica como técnica.

**C
A
P
I
T
U
L
O**

I Generalidades

CAPITULO I

GENERALIDADES

I.1 LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.- La construcción, por ser una área de actividad de primer orden en todas las actividades del mundo, se ve acrecentada por la continúa diversificación en sus campos de trabajo y su grado de aplicación a toda la actividad humana.

El desarrollo de las técnicas y formas constructivas a través de la historia, han marcado los caminos y parámetros que ha seguido la construcción de las obras ya sean éstas de ingeniería o arquitectura. Por consecuencia las formas y estilos desarrollados con los logros que la ciencia y la tecnología ha incorporado a los métodos constructivos, han transformado la concepción formal del diseño; nuevas posibilidades, nuevos recursos en el empleo de materiales y equipos, han inducido cambios radicales.

El acero, que vino a revolucionar los procesos constructivos, ofrece una infinita gama de posibilidades formales.

En el proyecto el Ingeniero tiene que combinar una gran cantidad de elementos a fin de obtener un resultado, esto es, una estructura que sea económica, segura y que satisfaga las condiciones tanto de funcionamiento como arquitectónicas de la obra.

Entre los elementos combinables destacan los siguientes: tipo de obra, materiales estructurales, dimensiones generales de la misma a fin de ser útil, condiciones de servicio, cargas que solicitan la estructura, análisis, diseño o revisión.

sión de elementos, facilidades de construcción, costos, etc. en general, la aplicación de algunas reglas básicas, basadas en la experiencia y comparación de muchos casos parecidos y la propia experiencia del proyectista conduce a la elección más adecuada.

I.2 QUE ES LA PREFABRICACION.- El término prefabricación en el campo de la construcción significa: fabricación antes de la colocación en obra, con el objeto de aumentar la producción y disminuir el precio del costo.

En pro de la industrialización, las empresas se han visto obligadas a utilizar en gran escala las prefabricaciones de concreto, concreto armado y concreto pretensado y postensado.

Así pues, la prefabricación se establece progresivamente, --reemplazando de esta forma los antiguos métodos de construcción.

I.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.- Como ventajas principales de la prefabricación pueden citarse las siguientes:

I.3.1.1 Economía en cimbra y obra falsa. Estas economías serán tanto más importantes cuanto mayores sean los claros y las alturas de la estructura en cuestión.

Cuando existe la posibilidad de emplear elementos prefabricados estandar que pueden utilizarse en muchas estructuras --distintas, los moldes correspondientes pueden diseñarse para un número de veces mucho mayor que el usual en construcciones de concreto convencional.

Puede mencionarse que el ahorro de madera que caracteriza a la prefabricación puede ser de interés para la economía na-

cional en países como México dónde la conservación del patrimonio forestal es un problema de interés general.

I.3.1.2 Economía de Mano de Obra. El empleo de sistemas de producción en serie y la mecanización tanto de la fabricación de los elementos prefabricados como de su montaje implica economías importantes en la mano de obra. Además, cuando se recurre a la prefabricación resulta más fácil programar los trabajos de manera que se reduzcan los tiempos muertos a un mínimo. Por el contrario, en la construcción de estructuras de concreto reforzado por los procedimientos convencionales siempre es difícil lograr que los carpinteros, los fierros y los coladores trabajen con un ritmo constante.

I.3.1.3 Economía de Materiales. Las características de la fabricación en serie de elementos estructurales permiten aplicar sistemas de control de calidad que no es posible utilizar en las obras convencionales. Un buen control de calidad hace posible un aprovechamiento más eficiente de los materiales. En algunos países incluso se llega a aceptar esfuerzos permisibles mayores que en el caso de estructuras de concreto convencionales cuando se trata de elementos fabricados en plantas con un control de concreto adecuado.

I.3.1.4 Rapidez de Ejecución. La posibilidad de traslapar las distintas etapas de la construcción en mayor grado que cuando se usan métodos convencionales reduce los tiempos de ejecución notablemente. Con una programación correcta se puede conseguir que los elementos prefabricados para la estructura estén listos en el momento en que se termina la cimentación.

El tiempo necesario para el montaje de los elementos de la estructura, cuando se dispone de equipo adecuado, puede llegar a ser cortísimo. Además la limpieza que caracteriza a la prefabricación permite que los trabajos de albañilería, carpintería, acabados de muros, techos y pisos, las instalaciones eléctricas y de plomería, puedan iniciarse antes que en las obras convencionales. En las estructuras de concreto coladas en el lugar, por ejemplo, es necesario esperar a poder retirar la obra falsa requerida durante el fraguado y limpiar los escombros y desechos que suelen abundar en ellas.

La reducción de los tiempos de construcción, como es natural, supone una disminución no solamente de los gastos de administración y de supervisión sino también de los intereses sobre capital.

I.3.1.5 Recuperabilidad. En muchos casos la naturaleza de las juntas utilizadas en estructuras prefabricadas permite el desmantelamiento de éstas de tal manera que puedan trasladarse a otro lugar y volver a erigirse.

A las ventajas que se acaban de mencionar se oponen las desventajas o dificultades que se señalan a continuación:

I.3.2.1 Necesidad de invertir en equipo especial. Cualquier sistema de prefabricación requiere inversiones en equipo que no son necesarias en obras convencionales (planta de fabricación de elementos precolados, equipo de montaje, equipo de transporte, etc.)

I.3.2.2 Dificultad del diseño de juntas y conexiones. El dise

ño de juntas y conexiones es probablemente el aspecto más de-
licado del proyecto de estructuras a base de elementos prefa-
bricados, sobre todo cuando se desea disponer de un grado de
continuidad semejante al de las estructuras de concreto re-
forzado ordinarias, en las que la continuidad se logra en --
forma sencilla y natural.

I.3.2.3 Escasez de rigidez de algunas estructuras prefabrica-
das. En estructuras prefabricadas a base de vigas y colum-
nas siempre constituye un problema lograr una rigidez adecua-
da debido a la falta de monolitismo propia de piezas que fue-
ron fabricadas aisladamente.

I.3.2.4 Necesidad de una supervisión cuidadosa. La fabricación
y el montaje de estructuras prefabricadas requiere una super-
visión muy cuidadosa, sobre todo en lo que se refiere a las-
dimensiones de los elementos estructurales (modulación) y la
construcción de las juntas.

I.3.2.5. Necesidad de programar y proyectar en detalle. El éxi-
to de la prefabricación en una obra depende gran parte de --
que se haya programado en forma correcta. Esto implica un -
mayor costo de estudios, proyectos, planos, etc.

I.3.2.6. Pérdidas por rotura de elementos prefabricados durante
su transporte y montaje. La naturaleza de la prefabricación
hace necesario que cada elemento estructural tenga que ser -
manejado varias veces desde que se termina su fabricación --
hasta que se coloca en su posición definitiva.

Por muchas precauciones que se tomen es imposible elimi--

nar totalmente el riesgo de que se produzca alguna rotura durante las maniobras.

I.3.2.7. Necesidad de preveer con anticipación la colocación de ductos para instalaciones y otros detalles constructivos. En las estructuras prefabricadas no es tan fácil improvisar ductos para instalaciones taladrando agujeros en el concreto como en las estructuras convencionales. Por lo tanto es necesario tener previstas las necesidades de ductos y otros detalles en las primeras fases del proyecto para que se puedan dejar las preparaciones necesarias en las piezas prefabricadas.

La idea de aplicar la prefabricación a la construcción de estructuras de concreto reforzado no es nueva. Podría afirmarse que desde los comienzos de la técnica del concreto han existido dos tendencias constructivas contrapuestas. Una de ellas, que ha sido la predominante hasta la fecha, consiste en el procedimiento convencional de ir formando la estructura en su posición definitiva mediante moldes. Este procedimiento se caracteriza por lo elaborado de las cimbras y -- obras falsas, por la dificultad del colado del concreto, que es necesario transportar y elevar del lugar donde se produce hasta su destino, y por los retrasos ocasionados por la necesidad de esperar a que el concreto fragüe. Quizas su mérito principal resida en la facilidad con que se logran estructuras monolíticas y continuas. Otra característica importante de las estructuras coladas en el lugar, es la sencillez con que se pueden lograr toda clase de formas.

La otra tendencia, basada en las ventajas reseñadas anteriormente, es la que ha dado origen a la técnica de la prefabricación, cuyo rasgo dominante es la industrialización de los procesos constructivos, que presupone la normalización e estandarización de los elementos estructurales y la mecanización de su fabricación y montaje. La naturaleza de las estructuras constuidas mediante el ensamble de piezas prefabricadas suele implicar un sacrificio de la continuidad propia de la estructura monolítica. Este inconveniente es en la actualidad una de las principales preocupaciones de los prefabricadores, que buscan maneras de monolitizar sus diseños ideando juntas que aseguren la continuidad de los distintos miembros, cada una de las dos tendencias constructivas tiene su campo de aplicación. Mientras que la técnica de colado en el lugar se presta a estructuras de formas complicadas y variadas o en los casos donde el monolítismo es importante, la prefabricación es interesante siempre que el volumen de obra y su naturaleza permitan una estandarización razonable de los elementos estructurales que la integran y justifiquen las inversiones en el equipo y las instalaciones necesarias. Indudablemente no todas las obras se prestan a la prefabricación y en cada caso antes de optar por uno de los sistemas, debe hacerse un estudio de costos cuidadoso sopesando los méritos de cada uno y eligiendo el tipo más adecuado. Sin embargo, es interesante señalar que en la actualidad se observa una tendencia a un uso creciente de la prefabricación debido posiblemente a los progresos logrados en los últimos años en los equipos de montaje que permiten el manejo de ele

mentos cada vez mayores. Incluso en México no es difícil encontrar equipo con capacidad para montar elementos de más de diez toneladas. También han contribuido al auge de la prefabricación los adelantos logrados en juntas que permiten obtener un grado de continuidad semejante al de las estructuras monolíticas.

I.4 CONCRETO PREESFORZADO.- Generalmente se considera a Eugene Freyssinet como el "padre" del concreto preesforzado. Su interés en la materia, y las pruebas que realizó a principios del siglo XX, lo llevaron a pensar que el preesfuerzo sería una proposición práctica si existiese disponibilidad tanto de acero de alta resistencia como de concreto de alta calidad. Ambos materiales arribaron lentamente, estableciendo así la teoría del preesfuerzo.

El preesforzado ha hecho posible tanto la aparición de nuevos métodos de construcción como el que se diseñen tipos enteramente nuevos de estructuras, las que no hubiese sido concebidas sin él. Sin embargo, existe un número limitado de medios con los cuales se puede tensar y anclar a los cables y varillas, por lo que el panorama de innovación tiene que ser pequeño ahora. Existe todavía mucho por hacer en el trabajo detallado de refinar el preesfuerzo y aún más para entender su uso.

Dos de las aplicaciones más desafiantes y útiles se han desarrollado en los últimos años para las grandes estructuras marítimas (puertos, terminales fuera de la costa, plataformas fijas y flotantes para la producción de petróleo) y -

estaciones de energía nuclear.

Así mismo, es posible que el concreto preesforzado incrementa su participación en la construcción de puentes y los defensores del concreto de alta resistencia compitan con los defensores del concreto ligero sobre la mejor forma de proceder.

En general, podemos decir que los elementos preesforzados son aquellos que presentan esfuerzos comprensivos antes de entrar en su fase de servicio, en las zonas donde sabemos, por medio del cálculo, que se presentarán esfuerzos de tensión en el concreto. Los esfuerzos de comprensión en el concreto son creados regularmente por cables de preesfuerzo (acero duro) tensados mediante gatos hidráulicos.

EL concreto preesforzado también puede definirse como concreto precomprimido; ésto significa que un miembro de concreto antes de empezar su vida de trabajo, se le aplica un esfuerzo de comprensión en aquellas zonas donde se desarrollarán esfuerzos de tensión bajo cargas de trabajo.

El diseño de concreto preesforzado es más adecuado para estructuras de claros grandes y para aquellas que soporten cargas pesadas, principalmente debido a las resistencias más elevadas de los materiales empleados. Las estructuras de concreto preesforzado son más esbeltas y por consiguiente, más estéticas. Producen mayores claros cuando es necesario; no se agrietan bajo las cargas de trabajo y, cuando pudieran aparecer grietas bajo las sobrecargas, se cerraran tan pronto como se elimine la carga, a menos que la carga sea excesiva. bajo la carga muerta, la deflexión es reducida, debido al efecto del pandeo del preesfuerzo. Esto se convierte en

una consideración importante para estructuras tales como los voladizos largos. Bajo la carga viva, la deflexión es también más pequeña debido a la efectividad de toda la sección de concreto sin agrietar, la cual tiene un momento de inercia de dos a tres veces el de la sección agrietada. Los elementos preesforzados son más adaptables al precolado debido a su peso más ligero.

En cuanto se refiere a la utilidad, el único defecto del concreto preesforzado es su falta de peso. Aunque en la práctica se encuentran pocas veces las situaciones en donde se desea peso y masa en vez de resistencia.

La seguridad de una estructura depende más de su diseño y construcción que de su tipo. Sin embargo, ciertas características inherentes de seguridad pueden mencionarse en el concreto preesforzado. Hay una prueba parcial, tanto para el acero como para el concreto, durante las operaciones de preesforzado. Para muchas estructuras y durante el preesforzado, tanto el acero como el concreto están sujetos a los esfuerzos más altos que existan en ellos durante su vida de servicio por consiguiente, si los materiales pueden soportar el preesforzado, seguramente poseen la resistencia suficiente para las cargas de servicio.

Cuando están diseñadas apropiadamente por los métodos convencionales actuales, las estructuras de concreto preesforzadas tienen capacidades de sobrecarga similares y quizás ligeramente superiores a las del concreto reforzado. para los diseños usuales, deflexionan apreciablemente antes de la rup

tura, proporcionando así una amplia adherencia antes de que suceda el colapso. La habilidad para resistir las cargas de choque e impacto y las cargas repetidas de trabajo es tan buena en el concreto preesforzado como en el reforzado. La resistencia a la corrosión es mejor que la del concreto reforzado para la misma cantidad de recubrimiento, debido a la ausencia de grietas. Si aparecieran grietas, la corrosión puede ser más seria en concreto preesforzado. Con respecto a la resistencia al fuego, el acero de alta resistencia es más sensible a altas temperaturas; pero, para la misma cantidad de recubrimiento mínimo, los tendones preesforzados pueden tener un promedio mayor de recubrimiento debido a la amplitud y curvatura de los tendones individuales.

Los miembros de concreto preesforzado requieren más cuidado en el diseño, construcción y erección que aquellos de concreto ordinario, debido a la mayor resistencia, a la sección menor y, algunas veces, a los aspectos delicados de diseño involucrados, es posible concluir de la experiencia que la vida de tales estructuras puede ser tan larga o mayor que la del concreto reforzado.

Desde un punto de vista económico, es evidente, desde luego, que cantidades menores de materiales, acero y concreto, se requieren para soportar las mismas cargas puesto que los materiales son de mayor resistencia. También hay un ahorro definido en los estribos, puesto que el esfuerzo constante en el concreto preesforzado se reduce por la inclinación de los tendones y la tensión diagonal se disminuye aún más con-

la presencia del preesfuerzo. El peso reducido del miembro - ayudará para economizar las secciones; la menor carga muerta y profundidad de los miembros resultará en un ahorro de mate riales de otras porciones de la estructura. En los miembros precolados, una reducción de peso ahorra costos de maniobras y transportes.

A pesar de las economías anteriores, posibles con el concreto preesforzado, su uso no puede establecerse para todas las condiciones.

Primero que todo, los materiales de resistencia mayor ten drán un costo unitario más alto. Se requieren más materia-- les auxiliares para el preesfuerzo, anclajes en los extremos, conductos y lechadas. También se necesitara una cimbra más-- complicada, puesto que a menudo son necesarias para el con-- creto preesforzado formas no rectangulares. Se requiere más trabajo para colocar un kilogramo de acero en el concreto -- preesforzado, especialmente cuando la cantidad de trabajo in volucrada es pequeña; se requiere más atención en el diseño-- y es necesaria más supervisión; la cantidad de trabajo adi-- cional dependerá de la experiencia del ingeniero, pero no se rá importante si se repite muchas veces el mismo diseño tipi co.

Se puede concluir que el diseño del concreto preesforzado puede ser económico cuando se va a repetir muchas veces la - misma unidad o cuando se encuentran cargas pesadas en claros largos. También debería encontrarse una aplicación adecuada cuando se combina con el precolado o con el semiprecolado ta

les como construcción compuesta o elevación de losas. Cada estructura debe considerarse individualmente. La disponibilidad de buenos diseñadores, de cuadrillas experimentadas, de fábricas de pretensados y de licitaciones de competencia ayudan a menudo para inclinar la balanza en favor del concreto preesforzado.

I.4.1 PRINCIPIOS DE PREESFUERZO.

Considere una viga de concreto simple soportando una carga. Al incrementar la carga, la viga se deflexiona ligeramente y después falla repentinamente. Bajo la carga, los esfuerzos en la viga serán de compresión en las fibras superiores, y de tensión en las inferiores.

Es probable que la viga se agriete en su parte inferior y sufra rupturas, aún con carga relativamente pequeña, debido a la baja resistencia a la tensión del concreto. Existen dos formas de contrarrestarla: con el empleo de refuerzo o preesforzando.

En el concreto reforzado, en las zonas donde se desarrollarán esfuerzos de tensión bajo la carga, debe colocarse refuerzo en forma de varillas de acero.

El refuerzo absorbe toda la tensión y se limita el esfuerzo con el acero, el agrietamiento en el concreto se podrá mantener dentro de los límites aceptables.

En el concreto preesforzado, los esfuerzos de compresión introducidos en las zonas donde se desarrollaran los esfuerzos de tensión bajo la carga, resistiran o anularan estos esfuerzos de tensión. En este caso, el concreto reacciona como si-

tuviese una alta resistencia a la tensión propia y en tanto que los esfuerzos de tensión no excedan a los esfuerzos de precompresión, no podrán presentarse agrietamientos en la parte inferior de la viga.

Un ejemplo cotidiano del principio fundamental del preesfuerzo lo utiliza una persona que transporta varios ladrillos con el fin de acomodarlos verticalmente, uno encima del otro y soportarlos por debajo. Los ladrillos pueden levantarse y moverse en una fila horizontal ejerciendo presión con una mano colocada en cada extremo.

La resistencia a la tensión de la hilera de ladrillos es nula, pero en cuanto se aplica una presión suficiente, toda la hilera puede levantarse de conjunto. Si la presión se utiliza cerca del extremo superior, se descubrirá que la unidad no es muy estable y tenderá a abrirse de la parte inferior. Si la presión se aplica abajo de la mitad de la altura, será posible colocar más ladrillos en su parte superior, de tal manera que en dicha unidad también se soportará una carga. Mientras mayor sea la carga que se coloca encima, mayor será la presión requerida en cada extremo.

La idea fundamental de usar varias unidades separadas se transforma en una solución estructural muy práctica, cuando es necesario salvar un gran claro. Sobre una obra falsa, se izan unidades prefabricadas de concreto, se presionan contra otras y se retira la obra falsa. Si se mantiene la presión, se tendrá un miembro capaz de soportar cargas.

Sin embargo, la flexión es tan sólo una de las condiciones involucradas, ya que también existe la fuerza cortante,-

la cual en una viga se desarrolla horizontal o verticalmente, dando origen a esfuerzos de tensión y compresión diagonal de igual intensidad. Como el concreto es débil en tensión, se presentarán grietas en una viga de concreto reforzado, en -- donde éstos esfuerzos de tensión diagonal son altos, lo que normalmente ocurre cerca de los apoyos. En el concreto preesforzado se pueden calcular los esfuerzos de precompresión, de tal manera que sobrepasen los de tensión diagonal.

Una viga preesforzada sujeta a carga experimenta una flexión y la compresión interna disminuye gradualmente. Al retirar la carga, se restituye la compresión y la viga regresa a su condición original, demostrando la resistencia del concreto preesforzado. Más aún, las pruebas han demostrado que -- puede efectuarse un número virtualmente ilimitado de dichas inversiones de carga, sin afectar la capacidad de la viga para soportar la carga de trabajo o reducir su capacidad de -- carga última. En otras palabras, el preesforzado dota a la viga de una gran resistencia a la fatiga.

Como ya se ha mencionado, si para la carga de trabajo los esfuerzos de tensión ocasionados por la misma no exceden del preesfuerzo, el concreto no se agrietará en la zona de tensión, pero si sobrepasa la carga de trabajo y los esfuerzos de tensión resultan mayores que el preesfuerzo, surgirán -- grietas. Sin embargo, si se retira la carga, aún después de que una viga ha sido cargada a una posición muy alta de su capacidad última, se obtiene como resultado una clausura total de las grietas, las cuales no reaparecen bajo cargas de

trabajo.

La precompresión se aplica en losas colocadas sobre el terreno o en pavimentos. Esto se logra mediante el empleo de gatos aplicados externamente, los cuales después de comprimir la mayor parte de la losa entre dos apoyos fijos, se pueden sustituir por el resto de la losa.

Lo anterior no es, sin embargo, un método de aplicación práctica en la mayoría de los elementos estructurales, ya que el método usual consiste en emplear tendones de acero tensados que se incorporan permanentemente al elemento.

Por lo general, los tendones se forman de alambre de alta resistencia, torones o varillas, que se colocan aisladamente o formando cables. Existen dos métodos básicos para usar tendones, siendo éstos: pretensado y postensado.

**C
A
P
I
T
U
L
O**

II Eleccion de tipo

CAPITULO II

ELECCION DE TIPO

Para efectuar la elección de tipo, es necesario comparar dos o más alternativas para solucionar las necesidades establecidas, logrando en la actualidad mayor éxito la prefabricación, ya que se basa no sólo en la realización de un diseño técnicamente correcto sino en una programación adecuada del proceso constructivo junto con el empleo de procedimientos de fabricación en serie.

II.1 PREFABRICACION LIGERA.- Por prefabricación ligera hay que entender la fabricación de elementos de pequeñas dimensiones, que no necesitan más que instalaciones modestas en la escala de artesanos o pequeñas empresas.

Es el caso de fabricación sobre una mesa vibratoria o utilizando moldes de pequeñas dimensiones equipados de vibradores, o bien utilizando pequeñas máquinas vibromoldeadoras que hacen los elementos sobre una superficie de concreto.

Estos elementos están destinados a ser empleados en una construcción tradicional, o bien en una construcción prefabricada. Los principales elementos de construcción son:

II.1.1 Los dinteles, repisones de ventanas, umbrales de puertas, huellas y contrahuellas de escalera, piedras de coronación de muros y pilares, volutas de escalinatas, cruceros, bloques de piedra, todos estos elementos pueden ser fabricados sobre una mesa vibratoria.

II.1.2. Los aglomerados macisos o huecos, fabricados sobre una superficie plana con la ayuda de pequeñas máquinas vibromol-

deadoras.

II.1.3 Pequeñas losas que tengan menos de un metro cuadrado de superficie que puedan ser fabricadas sobre mesa vibratoria o sobre una superficie de concreto.

II.1.4 Postes de cercas.

Dentro de los elementos para vías públicas se encuentran:

II.1.5. Tubos de saneamiento. Estos tubos son, con frecuencia, utilizados para la construcción de alcantarillas y el saneamiento de las aguas del terreno. No pueden servir más que para caudal libre, es decir, sin carga a presión.

II.1.6. Parapetos de acera. Son piezas todas idénticas que se fabrican en grandes series.

II.1.7. Elementos de cunetas, éstos son de dos clases:

- Pequeñas losas planas ligadas con los parapetos de acera.
- Pequeñas piezas de forma angular que constituyen en una sola pieza el parapeto y la losa.

Como elementos diversos de concreto mencionaremos:

Postes de concreto.

Losas a colocar por superposición.

Tableros calados o celosias.

Barandales de sección cuadrada.

II.2 PREFABRICACION INDUSTRIAL.- Por prefabricación industrial hay que entender la fabricación de elementos de grandes dimensiones, que se salen de las posibilidades materiales de las pequeñas empresas y necesitan una organización y medios materiales que pertenecer a la escala de medianas y grandes

empresas.

En general, se trata de piezas que no pueden ser fabricadas en una mesa, sino principalmente sobre una gran superficie de terreno.

II.2.1 PILOTES PARA CIMENTACIONES. Los pilotes para cimentaciones pueden fabricarse mientras se procede a las excavaciones, lo que desde el principio proporciona un ahorro de tiempo.

Los pilotes prefabricados son siempre piezas prismáticas-cuya sección es generalmente cuadrada, redonda u octogonal.

- Pilotes de sección cuadrada; la sección cuadrada es la más usada, porque es la más fácil de realizar y con menos gastos. Las secciones usuales se escalonan del 20 X 20 al 40 X 40. Las longitudes corrientes van de 6 a 20 metros, la extremidad inferior termina en tronco de pirámide.

El armado se compone de varillas longitudinales y de estribos.

Siempre hay una varilla en cada ángulo de la sección cuadrada y además, una, dos, o tres varillas sobre cada lado -- (ver figura 1). Si las varillas existentes en el mercado no tienen la longitud suficiente deben ser soldadas a tope. Se superponen, en un metro de longitud y en la zona de la soldadura, se colocan dos varillas de menor diámetro ligadas con alambre de 3 mm recocado, formando por lo menos seis espiras. Si las dos barras soldadas son de diferente longitud, la unión se coloca hacia la punta del pilote. (ver figura 2)

La composición del armado varía a lo largo del pilote pa-

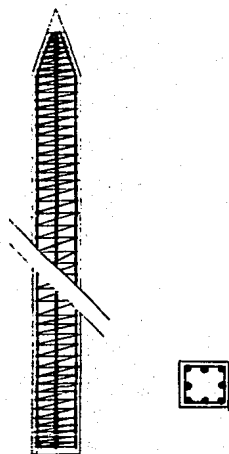


FIGURA 1

SECCIONES LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE UN PILOTE DE SECC. CUADRADA

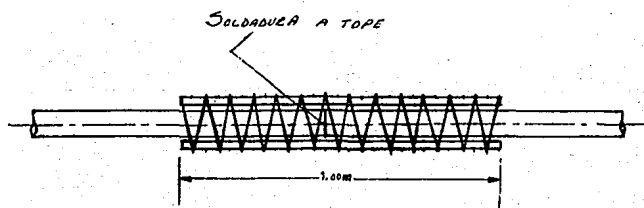


FIGURA 2

ESQUEMA DE LA UNIÓN POR LOS EXTREMOS DE DOS VARILLAS DE DIÁMETRO ϕ POR SOLDADURA A TOPE Y REFUERZO POR DOS SEGMENTOS DE VARILLA DE DIÁMETRO ϕ/c .

ra compensar ciertas zonas que sufren esfuerzos de flexión durante el manejo y la hincada en que estas zonas sufren efectos dinámicos debidos a los golpes. Se tienen en cuenta todos estos efectos aumentando el número de varillas en la zona de sustentación y juntando los estribos en las proximidades de la cabeza y de la punta.

Los estribos están constituidos por un alambre enrollado alrededor de las varillas en continuidad, lo que les permite jugar el papel de abrazaderas que contienen los empujes radiales dinámicos resultantes del choque en la maza sobre la cabeza del pilote.

Para fabricar los pilotes de cimentación, se debe contar con costados de chapa fuerte designados a cimbrar las caras laterales del pilote descansando la cara inferior sobre la superficie de concreto. La máquina así equipada fabrica el pilote directamente sobre el suelo y, desplazandose, deja sobre el mismo una serie de pilotes espaciados un metro aproximadamente.

Este tipo de fabricación, es pues, aplicable sólo en el caso que haya que fabricar gran número de piezas, a un gran ritmo.

- Pilotes de sección octogonal y pilotes circulares; permiten una distribución regular de varillas longitudinales, equidistantes todas del eje del pilote y equidistantes entre sí, además, los estribos enrollados alrededor de las varillas son circulares, lo que permite una conformación exacta en una curvatura, y estos estribos se comportan verdaderamente-

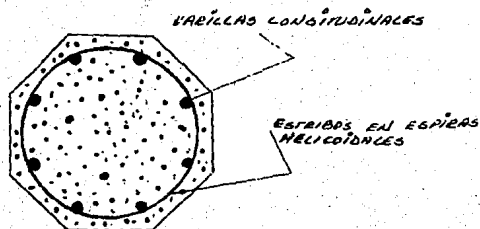


FIGURA 3

PILETE PREFABRICADO DE SECCIÓN OCTOGONAL

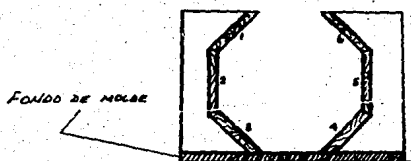


FIGURA 4

ESQUEMA DEL MOLDE DE MADERA PARA LA FABRICACIÓN DE PILETES PREFABRICADOS DE SECCIÓN OCTOGONAL.

como abrazaderas que se oponen al pandeo resultante de la --
compresión axial que el pilote debe soportar en servicio (és
to es mejor que los estribos de forma cuadrada, que tienden
a deformarse para aproximarse al círculo). (ver figura 3)

La sección octogonal presenta también una ventaja en la --
realización del molde. Este puede estar constituido por dos
medios moldes, presentando cada uno tres caras, la octava ca
ra se obtiene por la superficie superior del concreto cuando
el molde está lleno (ver figura 4).

Como hemos visto en el caso de pilotes de sección cuadra
da, el armado comprende refuerzos en la cabeza y en el ex
tremo, así como en las zonas de carga obtenidos, disminuyen
do el paso de las espiras que constituyen los estribos.

II.2.2

Tablestacas de concreto armado. Sirven para la cons--
trucción de muros de carga prefabricados. Cada tablestaca --
constituye un elemento de muro.

El interés de esta prefabricación es el permitir la cons--
trucción de un muro en terreno mojado sin tener que hacer --
achiques de agua; la hincada de estas tablestacas se puede ha
cer en el agua utilizando un martillo sobre pontón flotante.

Esto demuestra bien la ventaja de la prefabricación sobre
el método tradicional; no hay que hacer excavaciones para --
achicar el agua ni blindar y apuntalar las paredes, ni cim--
brar y armar en terreno fangoso y, después proceder al relle
no de las excavaciones.

Las aplicaciones de esta pieza prefabricada son numerosas
por ejemplo, el sostenimiento de un terreno en pendiente, --

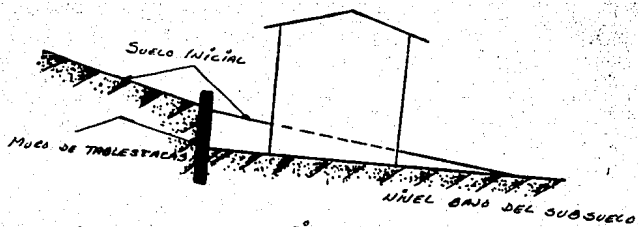


FIGURA 5

MURO DE TABLEROS ASEGURANDO EL SOPORTE DE UN TERRENO EN PENDIENTE.

adosado a un inmueble cuyo subsuelo se encuentra debajo de este terreno (ver figura 5).

Las características de esta tablestaca es necesario estudiarlas según el uso que se requiere. La longitud de la tablestaca depende de la altura y de la naturaleza del terreno en el que se hinca; la longitud de hinca deberá asegurar el apoyo necesario. El espesor de la tablestaca y su armado dependen de los esfuerzos a los que es sometida bajo la acción del empuje del terreno sostenido.

En definitiva, la determinación de estas características necesita antes un estudio de mecánica de suelos seguido del cálculo de resistencias de la tablestaca a flexión.

II.2.3

Techos y Pisos.- Las losas prefabricadas se generalizan en la construcción de edificios. Su interés primordial es el evitar el apuntalado tradicional que constituye una pérdida de tiempo y una elevación del precio de costo de mano de obra, en el procedimiento tradicional, la cimbra de vigas, viguetas y bovedillas, necesita hileras de puntales bajo el fondo de los moldes, las cuales se repiten en cada nivel de la construcción. Después del colado de la losa, es necesario un plazo de dos o tres semanas para descimbrar la cara inferior y desmontar los puntales.

La prefabricación de viguetas permite entregarlas listas para su empleo. Se ponen entre los muros de carga sin puntales, excepto en el caso de la vigas prefabricadas que no tienen más que una zapata de concreto, las que pueden ser apuntaladas con uno o dos puntales por claro cada 4 o 6 me--

tros. Una vez colocadas, están listas para recibir elementos prefabricados de bovedillas, y la losa de concreto puede ser colada inmediatamente sin cimbra, por lo tanto, sin plazo para descimbrar.

Tales son las características esenciales de las losas prefabricadas.

Como aplicación distinta de las losas pero relacionada también con las viguetas, vamos hablar de las cubiertas prefabricadas, hoy totalmente impuestas en la mayoría de las obras.

Existen numerosas empresas dedicadas a esa prefabricación y el sistema resuelve desde la cubierta sencilla a un agua para claros normales de 6 ó 7 metros, hasta las más atrevidas concepciones de la técnica, y que se llega a claros de 25, 30 y 35 metros.

Por supuesto, que el sistema varía considerablemente de uno a otro caso, pues en estos grandes claros a que me acabo de referir, generalmente hay que prefabricar las formas a pié de obra ya que por su gran longitud y peso, resulta imposible su transporte.

De la cubierta a un agua que, en definitiva, es una losa inclinada, podemos pasar a la clásica a dos aguas para nave industrial y claros hasta de 14 ó 15 metros, que son fácilmente montadas a base de viguetas.

De tal manera que, vigueta y bovedilla es un sistema constructivo compuesto por elementos prefabricados que se complementan con un firme colado en el lugar, integrando así una -

resistente y ligera losa estructural.

Existe una enorme variedad de sistemas de cubiertas y - - losas prefabricadas cada una de las cuales tiene algún mérito especial.

Me limitaré . . aquí a describir algunos sistemas utilizados en México y un sistema de techo alemán basado en el empleo de cascarones prefabricados.

Sistema "Pacadar" estos pisos están constituidos por unos largeros preesforzados sobre los que se apoyan unas bovedillas precoladas de concreto ligero. El sistema formado por las vigas preesforzadas y las bovedillas precoladas huecas - se recubre con un firme de concreto que puede hacerse trabajar integralmente con la viga preesforzada. Con este sistema se pueden salvar claros hasta de 12 metros de longitud. En la figura 6, se muestra una solución típica.

Sistema "Stalton" este sistema fue desarrollado en Suiza y se ha utilizado con éxito en México. En la figura 7, se - - muestran los elementos que lo constituyen y el sistema constructivo que suele utilizarse. Pueden lograrse claros de más de 14 metros.

Techos prismáticos o trabelosas. Algunas empresas mexicanas, ofrecen techos formados por elementos prismáticos pre-tensados, como se muestra en la figura 8.

Cubiertas y losas de elementos planos. En algunos casos, cuando los claros no son muy importantes, es económico utilizar placas planas preesforzadas sobre las cuales pueda colocarse un firme de concreto que actúe integralmente con -

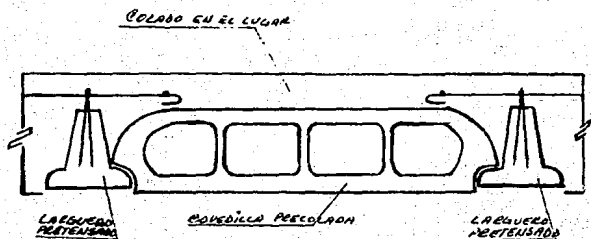


FIGURA 6
SISTEMA PACADAR

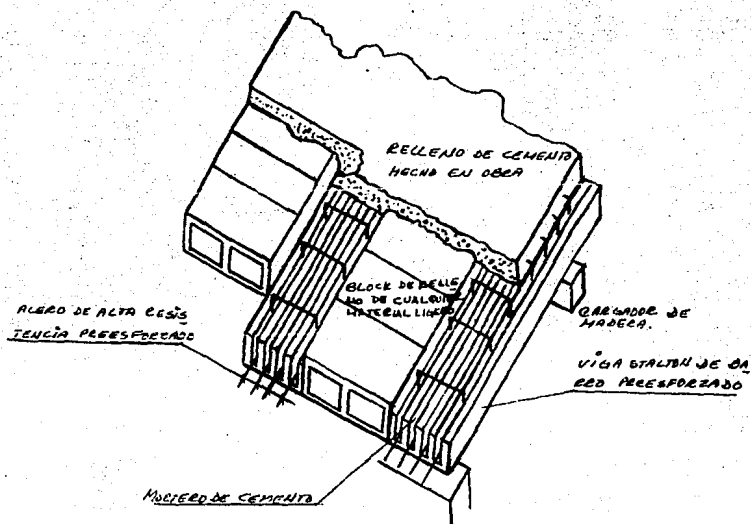


FIGURA 7
SISTEMA STALTON

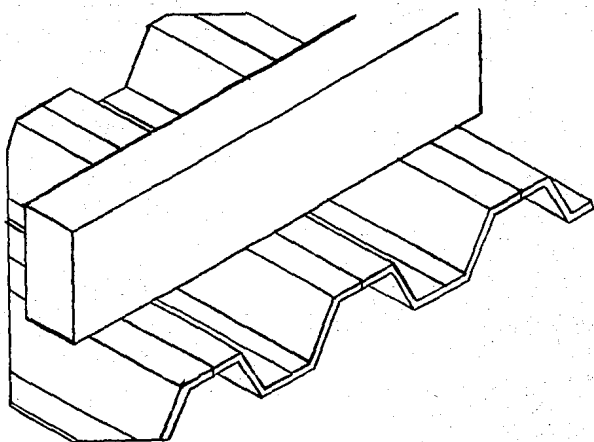


FIGURA 8

Techo de DECOLADOS PRISMÁTICOS

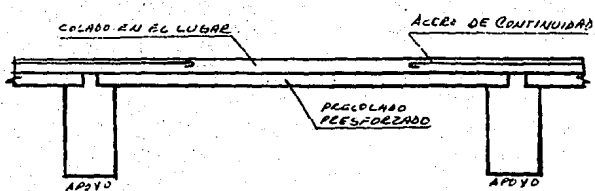


FIGURA 9

Techo de LOSAS PLANAS DECOLADAS

la losa plana, como muestra la figura 9. En el caso de losas siempre es recomendable utilizar las losas combinadas -- con un firme integral. En el caso de techos se puede utilizar las losas solas impermeabilizadas con alguno de los sistemas usuales a base de materiales asfálticos. Una variante puede consistir en usar un firme integral como en el caso de los pisos, y también puede evitarse la impermeabilización -- dando suficiente pendiente al techo.

Techos de "Siporex" se ha popularizado bastante en México el empleo de elementos de pisos y techos de siporex, que es un concreto celular muy ligero.

Estos elementos se fabrican normalmente en longitudes de 2.25 a 2.75 metros y espesores de 8 a 10 centímetros. En -- otros países se utilizan claron mayores. En una solución tí

ca los elementos de siporex se apoyan sobre un sistema estructural a base de vigas principales de concreto postensado y largeros pretensados. Los elementos del siporex se pueden utilizar también para formar muros, pero esta aplicación no suele resultar económica puesto que tiene que competir con -- soluciones muy económicas a base de bloques ligeros.

Celdalosas Meval. Estos elementos están formados por pla cas muy delgadas de concreto, reforzadas con sistemas octógo nales de nervaduras, que pueden ligarse entre sí en forma -- prácticamente monolítica. Su ventaja reside en que su parte inferior es aparente con lo que pueden evitarse los plafones o revestimientos. Los huecos se rellenan con un material li gero sobre el cual se coloca el piso, como se muestra en la-

figura 10.

Techos formados por armaduras de concreto precolado. Hay algunas empresas que ofrecen armaduras prefabricadas de concreto sobre las cuales pueden colocarse cualquier material de recubrimiento. Normalmente el material utilizado es algún tipo de lámina corrugada. Estas armaduras pueden alcanzar claros de 25 metros.

Techos formados por cascarones precolados. En Europa y en los Estados Unidos de Norteamérica se han utilizado en algunos casos cascarones precolados para formar techos de estructuras industriales.

Una solución muy interesante es el sistema patentado alemán "Silberkuhl" que utiliza un cascarón pretensado de doble curvatura. Según parece el sistema es muy económico pero requiere unas instalaciones bastante costosas para la fabricación de los cascarones.

Sóamente en países donde existe un mercado muy importante de techos para estructuras industriales vale la pena utilizar esta solución.

Los sistemas de cubiertas descritos son ya sistemas muy normalizados, pero naturalmente hay una infinidad de soluciones distintas de éstos que pueden adoptarse, tales como sistemas de piso o techo formados por vigas precoladas con una losa de concreto colada en el lugar, y otras muchas.

La construcción de edificios industriales es uno de los campos más interesantes para la prefabricación. Generalmente los edificios industriales tienen una estructuración y --

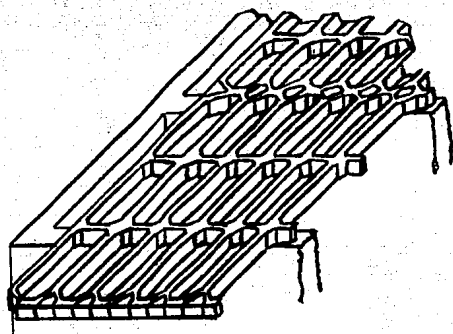


FIGURA 10

CELDALOSAS METAL

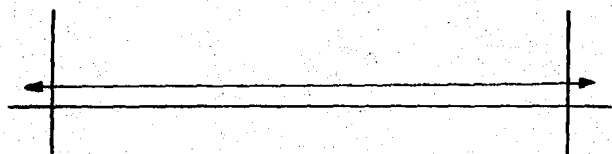
unas proporciones tales que permiten fácilmente estandarizar los elementos estructurales necesarios.

II.3 PREFABRICACION PESADA. La prefabricación pesada corresponde, de hecho, a una extensión de la prefabricación industrial, ocupándose de elementos de dimensiones mayores y de pesos más elevados. Los elementos prefabricados son colocados por medio de elevación apropiados. Su unión se hace con interposición de juntas para garantizar la impermeabilidad y absorber las tolerancias de montaje. El ahorro de tiempo de construcción es considerable, siendo prefabricados anticipadamente los elementos o por lo menos al mismo tiempo que la ejecución de las excavaciones, y realizándose el montaje de una manera continua, sin que sea necesario respetar el tiempo de secado, acabado o de endurecimiento.

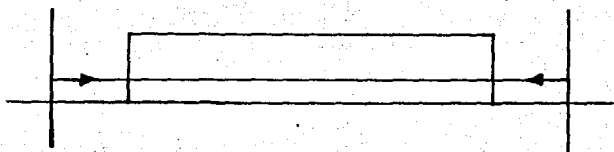
Esta técnica tan recientemente evoluciona más de prisa. Se llega a prefabricar elementos de construcción correspondientes a la altura de varios pisos. En razón de su volumen éstos elementos son fabricados en el suelo, en el mismo lugar de su empleo y son elevados mediante sistemas especialmente adaptados.

Además de los edificios se considera la construcción de estructuras tales como: depósitos y silos, pilotes de gran capacidad, puentes, durmientes, etc.

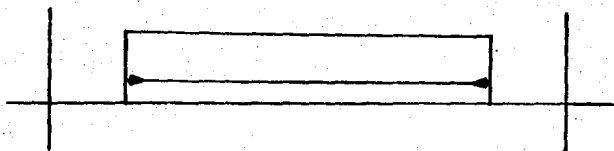
II.4 PREESFORZADO CON ACERO. Se emplean dos métodos; en el pretensado, como su nombre lo indica, primero se tensa el acero entre los muros de anclaje y posteriormente el concreto es colocado alrededor del acero y con moldes que dan



ETAPA 1



ETAPA 2



ETAPA 3

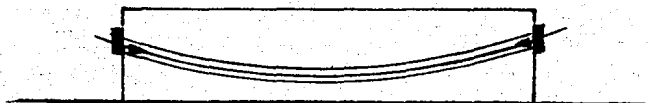
FIGURA 11
PRETENSADO



ETAPA 1



ETAPA 2



ETAPA 3

FIGURA 12
POSTENSADO

la forma al elemento. Cuando el concreto ha alcanzado suficiente resistencia a la compresión, se libera el acero de los muertos de anclaje, transfiriendo la fuerza al concreto a través de la adherencia existente entre ambos, vease la figura 11. En el postensado, primero se coloca al concreto fresco dentro del molde y se deja endurecer previo a la aplicación del preesfuerzo. El acero puede colocarse en posición con un determinado perfil, quedando ahogado en el concreto, para evitar la adherencia se introduce el acero dentro de una camisa metálica protectora; o bien pueden dejarse ductos en el concreto, pasando el acero a través de ellos una vez que ha tenido lugar el endurecimiento. En cuanto se ha alcanzado la resistencia requerida del concreto, se tensa el acero contra los extremos del elemento y se ancla, quedando así el concreto en compresión. El perfil curvo del acero permite la distribución efectiva del preesfuerzo dentro de la sección, de acuerdo con lo dispuesto por el proyectista (ver la figura 12').

II.4.1. PRETENSADO. El pretensado puede usarse en la obra cuando se requiera un gran número de unidades similares prefabricadas, pero normalmente se lleva a cabo en la planta donde ya han sido previamente construidas mesas permanentes de tendido.

El método más efectivo, es el de producción a gran escala en la que un cierto número de unidades análogas se producen simultáneamente.

Los tendones de acero, que por lo común consisten de alambres

bre para las unidades pequeñas y de torones para las más grandes, se tensan entre las placas de anclaje situadas en cada extremo de una mesa larga de tensado. Dichas placas se encuentran soportadas por grandes secciones de acero ahogadas en un macizo de concreto (muerto de anclaje) en cada extremo de la superficie de colado. La losa en la base puede servir como puntal entre estos macizos de concreto; sin embargo, en las mesas largas de tensado, los macizos se construyen lo suficientemente voluminosos con el objeto de que sean estables, es decir, para que no resbalen o se volteen. En mesas de tensado muy largas, a veces se tienen muertos de anclaje intermedios dentro de cavidades previamente hechas, de tal manera que se puedan insertar viguetas de acero temporales para que en caso necesario, queden mesas de tensado de menor longitud. En uno de los extremos, la placa de anclaje se apoya directamente en las viguetas de acero soportantes, denominadas apoyo fijo. En el otro extremo, el de tensado, se introducen puntales de acero temporales entre la placa de anclaje y las viguetas de apoyo. Generalmente, las placas de anclaje son placas gruesas de acero con agujeros por donde los alambres o torones pueden introducirse y anclarse. Los extremos de cada unidad tienen un tope que se taladra de acuerdo con la colocación de los tendones requeridos y del diámetro de los alambres o torones utilizados. En la figura 13 se muestra la disposición típica de una producción a gran escala.

Los torones o alambres, en el número proyectado, se arrastran a todo lo largo de la mesa de tensado, enhebrándose en -

los topes y en las placas de anclaje que finalmente se sujetan al apoyo fijo. En el otro extremo de la mesa, el tensado se inicia una vez que hayan sido colocados todos los alambres. Los cables se estiran para levantarlos de la mesa y aplicar la carga. Puede tomarse la lectura de la extensión y compararse con el valor calculado, pero como, de hecho, -- los tendones tienen libertad de movimiento (lo que no ocurre en el caso del postensado) es la fuerza en el cable la que reviste una importancia primordial.

En seguida se ancla el alambre y se descarga el gato; esta operación se repite con todos los demás alambres. La secuencia del tensado no es muy importante en el pretensado, pero, como acontece con todo presfuerzo, es esencial un tensado preciso. Si se va a emplear algún refuerzo secundario, la cantidad necesaria se habrá colocado en conjunto cerca de los topes y de los tendones ensartados al ejecutarse la operación de arrastrar a los alambres por la mesa. Una vez que se ha terminado el tensado, se arregla el refuerzo en la posición debida y se ensamblan los moldes preparándolos para recibir al concreto. En el pretensado, la adherencia entre el acero tensado y el concreto es de vital importancia y en ésta, al igual que en todas las operaciones que se realicen, debe preverse que el acero quede libre de cualquier material tal como el aceite o grasa de los moldes que interfiera con la adherencia.

Para obtener una compactación completa del concreto, se deben emplear vibradores, ya sea internos o externos. si los

vibradores internos no se manejan adecuadamente, pueden provocar la aparición de burbujas de agua adyacentes al acero tensado, lo que reducirá la adherencia efectiva. los vibradores externos no dan lugar a este problema, pero en cambio, los moldes requieren ser mucho más rígidos.

Como ocurre con cualquier concreto, el curado es necesario y es un proceso que en ocasiones se acelera mediante la introducción de vapor bajo una cubierta apropiada, obteniendo así una producción rápida debida a la mayor utilización de la mesa.

Cuando el concreto ha adquirido suficiente resistencia, -- los puntales provisionales son sustituidos por gatos que pueden irse aflojando lentamente. Como el acero tensado tiende a regresar a su longitud original, la adherencia entre el concreto y el acero evita que suceda ésto, de tal manera que el concreto queda sometido a compresión. Si las unidades tienen facilidad para deslizarse a lo largo de la mesa, se afloja la tensión en el acero entre ellas, lo que permite que el acero se corte sin peligro en los extremos de las unidades. En estos puntos, los tendones recobrarán su diámetro original, demodo que también existe una acción de cuña, además de la adherencia. La fuerza de cada tendón se transfiere al concreto -- en una cierta longitud denominada longitud de transmisión.

Esta longitud se afecta considerablemente por las condiciones de la superficie con respecto a los alambres, pero sufremenor variación si se trata de torones.

Sin embargo, en cualquiera de las dos, la longitud se afec

ta según el grado de compactación.

Otro método consiste en que los tendones se tensan simultáneamente. En este caso, los gatos se insertan entre la -- placa de anclaje y las viguetas de acero en lugar de los puntales provisionales. En seguida se accionan los gatos para tensar todos los tendones, ya que los gatos se usan también para reducir los esfuerzos y normalmente constituyen parte integrante de las mesas de tensado.

En pequeñas unidades patentadas el refuerzo secundario es a menudo innecesario y existe un sistema en que el concreto se extruye en forma continua alrededor de los tendones y posteriormente se aserran a la longitud requerida.

Como al momento de cortar los alambres todavía se encuentran en tensión, tiene que haber una muy buena adherencia; de lo contrario, desapareceran dentro de la unidad.

Una vez que se hayan separado las unidades en la mesa de producción a gran escala podrán ser apiladas, pero deberán manejarse con gran cuidado, izarse en los puntos correctos y colocarse siempre adecuadamente unas encima de otras.

El pretensado también podrá aplicarse a unidades aisladas, haciendo que el acero se tense y ancle en cada molde. A la vez, estas unidades deberan manejarse cuidadosamente.

En los procedimientos descritos hasta ahora, todos los -- tendones se han manejado rectos, continuamente adheridos al concreto. Aún cuando la mayoría de las unidades pretensadas se construyen de esta manera (lo cual demuestra que es una conformación económicamente factible), no proporciona el uso

más eficiente de la fuerza de preesfuerzo, en lo que respecta a miembros a flexión de sección constante.

En unidades grandes, donde es importante el peso propio, resultará ventajoso incrementar la excentricidad de los tendones cerca de la zona central del claro.

La excentricidad de un tendón es la distancia desde el -- centro del mismo al centro de gravedad de la sección.

Si la sección de una unidad se conserva constante en toda su longitud, puede verse fácilmente que, con tendones rectos, la excentricidad es constante en toda la longitud de la unidad, ya que la efectividad de la fuerza de preesfuerzo es -- función del producto de la magnitud de dicha fuerza por su excentricidad, pudiendo incrementarse la efectividad si se aumenta la excentricidad para el mismo valor de la fuerza. - Opcionalmente, puede lograrse la misma efectividad con una fuerza menor y una mayor excentricidad. Este principio constituye el criterio fundamental del postensado, aunque es posible aplicarlo al pretensado si se desvían los tendones o si algunos no son adheridos al concreto,

Como los tendones se encuentran tensados entre los apoyos, sólomente es necesario sujetarlos en posiciones más abajo o más arriba en puntos intermedios de su longitud, aún cuando se conserve una línea recta en estos puntos. Lo anterior se ilustra en forma esquemática en la figura 14.

El proceso de tendones no adheridos no requiere de un equipo muy sofisticado. se reduce en los extremos de la unidad a la fuerza de preesfuerzo, introduciendo algunos de los tendones en tubos de plástico para así evitar que queden adheri-

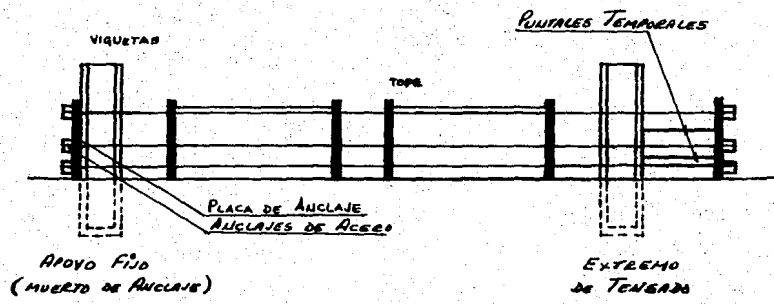


FIGURA 13
DESCRIPCIÓN A GRAN ESCALA

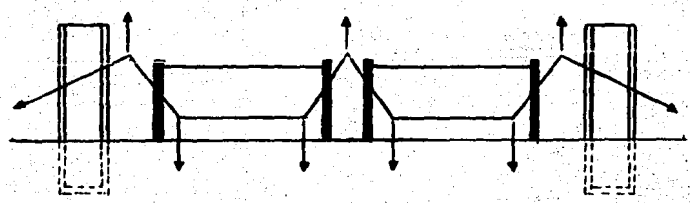


FIGURA 14
TENDIDOS FLEXIONADOS

dos. Por lo tanto, la longitud de transmisión se inicia en el extremo del tubo. La figura 15 muestra como se reduce la fuerza de preesfuerzo en el extremo de la unidad.

II.4.2 POSTENSADO. El postensado puede usarse en la producción industrial para grandes unidades prefabricadas con propósitos especiales, tanto en la obra como fuera de ella.

Tal como se ha descrito para el pretensado, el uso de tendones rectos no es el modo más eficiente de utilizar la fuerza de preesfuerzo al tratarse de grandes unidades. En aquellos puntos donde ocurre el momento máximo se requiere de la máxima fuerza efectiva de preesfuerzo y, por otra parte, la mínima fuerza de preesfuerzo es necesaria donde ocurre el mínimo momento flexionante. Ello puede lograrse para una fuerza constante de preesfuerzo variando la excentricidad de la fuerza, de tal manera que, en una sección cualquiera a lo largo de la viga, el efecto del preesfuerzo neutralizará el efecto de la carga.

Si los tendones se localizan dentro de la sección de concreto, se colocarán con un perfil curvo, por lo que el encamisado (normalmente constituido por ductos circulares metálicos preformados) debe quedar sujeto con el perfil necesario. Estos ductos deben colocarse en forma precisa y sujetarse al acero de refuerzo, que para entonces ya debe haberse puesto sobre la mesa que contiene a los moldes. El anclaje permanente en los extremos de los ductos se fija en el extremo del molde. La figura 16 muestra un detalle típico del extremo de la unidad, donde se utilizan ductos preformados.

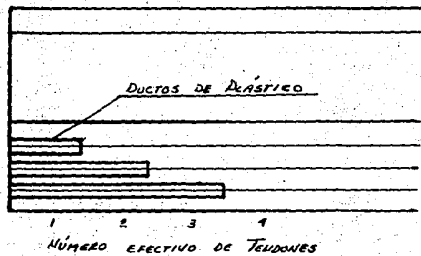
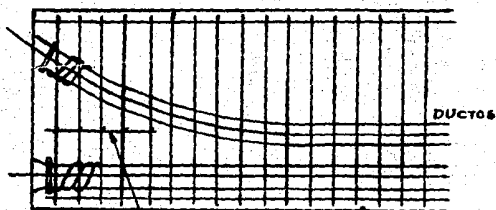


FIGURA 15
TENDONES NO PONERIDOS



REFUERZO PARA CONTENER EL ESTALLAMIENTO QUE PROVOCAN LAS FUERZAS DE LOS CABLES

FIGURA 16

Así mismo, los ductos pueden integrarse a la unidad de concreto, si se usan formas removibles sólidas o de hule inflable. Como éstas deben extraerse después del endurecimiento del concreto, el anclaje permanente no podrá colarse dentro de la unidad, pero debe preverse su colocación posterior en el extremo del molde. También los tendones pueden quedar al exterior de la unidad, en cuyo caso se proporcionarán sillas deflectoras en los lugares apropiados. El efecto es entonces similar al obtenido con los tendones flexionados, como ya se ha indicado para el pretensado.

En caso de emplear un encausado metálico preformado, es importante recordar que no debe permitirse que la lechada se introduzca en los ductos y, si ello ocurre, debe extraerse -- mientras esté en estado plástico debido a que los ductos se colocan en tramos, sus uniones deben ser protegidas con cintas. Aún cuando los tendones se encuentren dentro de los ductos éstos tenderán a flotar, no obstante que hayan sido fijados con precisión en su posición. Es interesante recordar -- que deben permanecer en su sitio durante la colocación del -- concreto.

El concreto se vaciará una vez que los moldes se encuentren ensamblados.

Es esencial que las unidades aún no presforzadas se curen apropiadamente para evitar el agrietamiento por contracción -- durante el proceso de endurecimiento.

Una vez que el concreto ha adquirido resistencia suficiente, se tensan los tendones, anclandolos por un extremo y ten-

sándolos con los gatos contra la cara del anclaje en el otro extremo, o tirando con los gatos desde ambos extremos simultáneamente. Los tendones dentro de cada grupo pueden tensarse individualmente, engancho un gato de barra o de un sólo torón a cada tendón a la vez o conectando también un gato de torón o de múltiples alambres a todos los tendones al mismo tiempo. En postensado es muy importante verificar tanto la extensión del tendón como la carga. No es posible observar el movimiento del tendón dentro del ducto, ya que sólo puede registrarse mediante la extensión del gato. Deberán vigilarse la carga aplicada y la extensión que produce de tal manera que cualquier irregularidad en el ritmo de la extensión -- para una cierta rapidez de los incrementos de carga pueda -- ser rápidamente revelada. Si en alguna parte del ducto queda atorado el tendón, la magnitud de la extensión disminuye, lo cual indica una falla y es en este momento cuando debe actuarse para su corrección. En cuanto se haya alcanzado la carga de diseño, se registrará la extensión y, si ésta ha alcanzado el valor calculado podrá anclarse el tendón. Nunca deberá incrementarse la carga más allá del valor especificado, especialmente si se intenta lograr la extensión requerida. Cuando los tendones se estiren separadamente, la secuencia será tal que aquellos que hayan sido tensados en primer término no interfieran con el movimiento de los que lo son -- posteriormente. En caso de utilizar varios cables en ductos diferentes, deberá obedecerse el orden de tensado especificado, ya que si no se hace así podrá dañarse el elemento.

Una vez que los tendones han sido tensados y anclados, generalmente se llenan los ductos de una lechada coloidal de cemento introducida a presión. El objeto principal de la lechada endurecida es el de evitar la corrosión de los tendones, así como proporcionar adherencia entre los tendones y el concreto. La magnitud de la adherencia tiene poco efecto en el comportamiento del miembro bajo condiciones normales de carga, y llega a afectar tanto la naturaleza del agrietamiento que se presentaría en el caso de una sobre carga como el factor de seguridad contra la falla de la tensión.

En los extremos de las unidades postensadas, los tendones transmiten una gran fuerza al anclaje el cual es de un área relativamente pequeña. El efecto que se produce es similar al de introducir una cuña en un bloque de madera y, a menos que pueda contenerse esta fuerza de estallamiento hasta que se disperse en la sección en el extremo de la unidad se presentará la factura.

En los cálculos de diseño se ha prestado especial atención a ésto que por lo general, resulta en concentrar refuerzo en las zonas extremas. También el concreto en esta área deberá ser de buena calidad con una compactación adecuada a pesar del congestionamiento del refuerzo, ductos y anclaje. En algunos casos, el bloque de extremo será prefabricado, girándolo 90° para darle mejor acceso al concreto en el momento de vaciarlo y posteriormente incorporarlo a la estructura durante la construcción.

En la práctica, el método de pretensado es preferible pa-

ra ciertas aplicaciones del preesforzado, mientras que para otras es más satisfactorio el postensado.

El método de pretensado se adopta mejor en unidades de sección transversal pequeña, en las cuales no se puede acomodar el cable de postensado, debido a que éste es comparativamente más voluminoso. El sistema puede ser adaptado a la producción en masa de un gran número de unidades similares (sólo en el caso de que resulten muy económicas) tales como durmientes para ferrocarril, largeros de piso, vigas, unidades para piso, postes, pilotes, etc.

Sin embargo, presenta ciertas desventajas que hacen más limitado su uso en relación con el otro método cuando se trata de elementos muy grandes. Por lo general, los alambres son rectos de manera que no se dispone de la resistencia que proporcionan los cables curvados hacia arriba, la pérdida de esfuerzo es mayor, la efectividad de una fuerza dada no es tan grande y así sucesivamente.

Los factores decisivos en el empleo del pretensado se deben a lo siguiente:

- Tamaño del elemento.
- Número de unidades requeridas.
- Conveniencia de los alambres rectos.

Al satisfacerse estas condiciones, pueden producirse económicamente unidades de excelente calidad.

El postensado es más flexible que el pretensado y hace más eficiente el uso de las fuerzas del preesfuerzo.

Las pérdidas son menores y el curvado hacia arriba de los-

cables en los apoyos aumenta la resistencia al cortante, aunque debe recordarse que involucra ductos y anclajes permanentes. Puede ser que el costo adicional de las unidades pequeñas no resulte conveniente, pero en unidades grandes el incremento proporcional será pequeño.

II.4.3 Materiales. Teóricamente el concreto y los cables de preesfuerzo constituyen sistemas que pueden considerarse conectados externamente, aún cuando en la práctica normalmente es más conveniente confinar al sistema de cables en el interior de la sección de concreto. Sin embargo, esta independencia teórica permite estudiar separadamente las propiedades de ambos materiales.

II.4.3.1 Concreto. El diseño de las mezclas de concreto y los diversos tratamientos a que puedan estar sujetas depende del sistema empleado.

En general la mezcla de concreto para una obra de preesfuerzo deberá ser trabajable cuando se encuentra en estado fresco y resistente cuando haya endurecido. La trabajabilidad del concreto fresco aumenta con un mayor contenido de agua y una buena granulometría de los agregados, en tanto que la resistencia del concreto endurecido (la que se incrementa con la edad) se aumenta con una relación agua/cemento reducida y por un incremento en la compactación. La contraposición de éstos requisitos ha sido objeto de amplios estudios y actualmente se conocen la posibilidad de satisfacerlos, así como la forma de predecir una resistencia mínima a-

la compresión después de que haya transcurrido un tiempo especificado. Este último aspecto es de gran utilidad para el concreto preesforzado, ya que la resistencia del concreto en un elemento, al aplicarle el preesfuerzo, constituye un factor muy importante. Por lo general, a esto se le llama condición inicial o de transferencia.

En el pretensado a gran escala, este esfuerzo no puede -- aplicarse a la unidad para proceder a retirarla hasta que el concreto no haya alcanzado la resistencia especificada para la transferencia de preesfuerzo. De modo que, para los propósitos de producción, es necesario saber cuando podrá desocuparse la mesa para ser usada nuevamente. La rigidización y endurecimiento del concreto se deben a la reacción química -- que tiene lugar entre el cemento y el agua en la mezcla. A temperaturas normales, el concreto necesita varios días para desarrollar una resistencia suficiente. Existen varios métodos para lograr un endurecimiento acelerado: el interno, mediante el uso de aditivos químicos y el externo mediante la aplicación de calor. Un aditivo que nunca deberá emplearse, y que los mismos reglamentos de práctica prohíben, es el cloruro de calcio.

El calentamiento externo comprende un curado con saturación de vapor o con calor eléctrico (el primero es usado con más frecuencia). La resistencia requerida puede alcanzarse en un período de tiempo muy corto, ya que las resistencias -- que normalmente se logran a los 28 días, pueden obtenerse al cabo de unas horas, pero como resultado del calentamiento --

del concreto, y consecuentemente del acero, puede presentarse una pérdida de preesfuerzo, al no obtener una adherencia adecuada entre los alambres calentados y el concreto. Esto sólo ocurre en el pretensado ya que si se aplica curado a vapor a las unidades pretensadas, que contienen cables, el acero no será prensado ni cubierto con lechada bajo estas condiciones.

Cualquiera que sea el procedimiento de curado en cementos comunes, existe generalmente una contracción cuando tiene lugar el endurecimiento. Aún cuando la mayor parte de la contracción tiene lugar a temprana edad en el elemento, la contracción continúa presentándose por varios meses, en lo que pueden influir las condiciones de exposición. Por ejemplo, para una exposición húmeda, del 90% de humedad relativa, la contracción es aproximadamente una tercera parte de la que pueda ocurrir con una exposición normal del 70%.

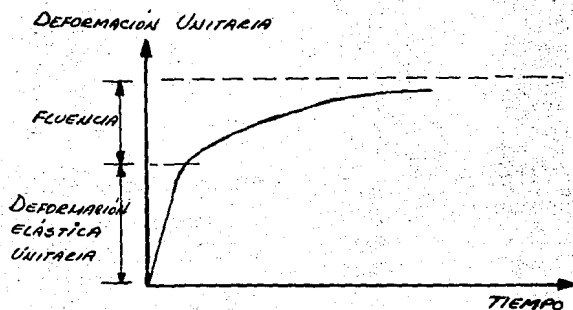
El concreto es, así mismo, un material elástico y tan pronto como el esfuerzo se aplica a la unidad, se acorta, -- por lo que reduce la longitud extendida del acero, y en consecuencia, el esfuerzo en él. A esta pérdida del preesfuerzo se le llama deformación elástica del concreto, que es una función del módulo de elasticidad, E_c ; del módulo de elasticidad E_s del acero, y del esfuerzo en el concreto en la condición de transferencia. A pesar de que el módulo de elasticidad depende primordialmente la resistencia a la compresión del concreto recibe influencia también de las propiedades -- elásticas del agregado y, en un menor grado, de las condicio

nes del curado y edad del concreto, del proporcionamiento de la mezcla y del tipo de cemento. Los reglamentos de práctica dan valores para el módulo de elasticidad del concreto en relación a la resistencia a la compresión, pero éstos no cubren todos los casos y de requerirse un valor preciso, deberá determinarse en base a pruebas en que se haya obtenido --- una curva esfuerzo-deformación.

En trabajos de pretensado, cuando todo el esfuerzo se -- aplica simultáneamente, se presenta la mayor pérdida debido a la deformación elástica y, en caso de postensado, la pérdida es nula, ya que el concreto constituye el anclaje y el esfuerzo en el concreto se alcanza por una transferencia directa al tensarse el acero. En el postensado, donde el esfuerzo se aplica por etapas, existe un esfuerzo progresivo, reduciéndose éste en todo el acero que ha sido previamente tensado. Por lo tanto, la pérdida es intermedia entre una cantidad nula y la total que se presenta en el pretensado.

Una tercera y muy importante propiedad del concreto, relacionada con su empleo para estructura preesforzada, es la fluencia (flujo plástico) que puede definirse, la deformación inelástica debida a un esfuerzo sostenido. Cuando el concreto esta sujeto a un esfuerzo de compresión permanente, se reduce su longitud, lo que a su vez disminuye el esfuerzo del acero. Se a demostrado que la rapidez con la cual tiene lugar la fluencia depende del esfuerzo y el tiempo para un especimen dado de concreto. Para un valor constante del esfuerzo, la curva esfuerzo-deformación tiene la forma que se-

muestra en la gráfica siguiente:



CURVA DE FLUENCIA TIPICA PARA EL CONCRETO

II.4.3.2 Acero. Generalmente el refuerzo utilizado en el preesfuerzo es en forma de alambres de alta resistencia a la tensión - estirados en frío, o varillas de aleación en conjunto para formar torones. Será conveniente definir aquí los términos usuales para el acero empleados en las obras de concreto preesforzado.

Cable: grupo de tendones.

Tendón: elemento estirado, que se usa para transmitir preesfuerzo en un elemento de concreto. Los tendones pueden consistir de alambres individuales estirados en frío, varillas o torones.

Alambre: refuerzo de sección entera y que, por lo general-

se suministra en forma de rollos.

Varilla: refuerzo de sección entera y que comunmente se suministra en longitudes rectas.

Torón: grupo de alambres torcidos en forma de hélice alrededor de un eje longitudinal común, el cual se forma mediante un alambre recto.

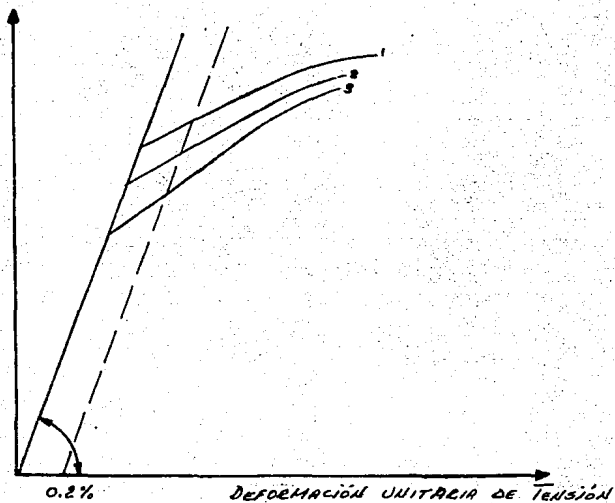
Los alambres varían en su diámetro, desde 2 hasta 8 mm., pero el diámetro más pequeño de uso general para elementos estructurales es de 4 mm. y puede suministrarse ya sea como se extrae o prestirado. La primera condición consistirá de rollos provenientes del laminado con una curvatura natural equivalente al cabrestante de la máquina para estirar los alambres, sin que llegue a quedar en forma recta cuando se extiende. Este defecto puede superarse enderezándolo en el mismo sitio pero también se requiere que los fabricantes suministren grandes carretes especialmente enrollados, debido a ésto los alambres tendrán esa curvatura. El alambre que ha sido prenderezado mediante un proceso que comprende un tratamiento de calentamiento reductor de esfuerzos, provoca una mejoría en las propiedades elásticas y conduce a lo que se denomina como un comportamiento de relajamiento normal, o bien, un tratamiento de estiramiento en caliente, que igualmente induce altas propiedades elásticas, pero que provoca lo que se clasifica como un comportamiento de relaja---

miento bajo.

Los términos relajamiento normal y bajo se aplican lo mismo a los torones que a los alambres. El relajamiento se define como la pérdida en el esfuerzo después de un cierto período de tiempo en el que un tendón de preesfuerzo se tensa para una carga determinada, bajo condiciones de longitud y temperatura constantes. Se ha establecido que, para un acero dado, la rapidez del relajamiento es una función del esfuerzo inicial y la duración de su aplicación. Este ritmo disminuye -- con el tiempo y para un máximo relajamiento, después de un período de mil horas. Como su nombre lo señala, un alambre o torón de relajamiento bajo tendrá menor pérdida de esfuerzo inicial que el de relajamiento normal. Los reglamentos de -- práctica proporcionan una guía sobre como estimar un valor -- preliminar de esta pérdida, pero, para una estimación precisa, deberán obtenerse datos de los fabricantes, quienes han llevado a cabo un gran número de pruebas en sus propios materiales.

Con objeto de asegurar la máxima adherencia entre el acero y el concreto, debe suministrarse el alambre en condiciones -- desengrasadas. Además de desengrasado, a menudo el alambre es ta indentado para lograr mejores propiedades de adherencia. -- La curva esfuerzo-deformación del acero de alta resistencia -- no muestra un punto de fluencia definido, como ocurre con el acero dulce. Con el fin de lograr un índice de la curvatura de la gráfica esfuerzo-deformación, se ha introducido el con-

ESFUERZO DE TENSION



CURVAS TÍPICAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA ALAMBRES LISOS DE 7mm DE DIÁMETRO.

- 1: RELAJAMIENTO BAJO
- 2: RELAJAMIENTO NORMAL
- 3: COMO SE EXTRAE

cepto de esfuerzo de prueba. El esfuerzo de prueba se define como el esfuerzo para el cual la carga aplicada produce una elongación permanente, igual a un porcentaje especificado de la longitud del calibrador. Para alambre de preesfuerzo, se usa una elongación del 0.2% en el esfuerzo de prueba.

Existen dos tipos básicos de torón para preesfuerzo, con 7 ó 19 alambres. Su elección depende principalmente del grado de flexibilidad y resistencia requeridas. El más popular es el de 7 alambres el cual es más fácil de fabricar se usa generalmente en tamaños desde 6.4 hasta 18 mm de diámetro exterior (o nominal); pero en el caso de que la carga de tensión indique una mayor sección transversal del acero, y a un no sea permitido usar torón doble de siete alambres, es posible aplicar torones de 19 alambres con un diámetro exterior que varía de desde 18 hasta 32 mm.

A Pesar de que se dispone de este gran rango de tamaños, los fabricantes tienen diámetros preferentes por lo que hay que referirse a la literatura comercial antes de elegir un diámetro que se ajuste a los cálculos.

Con la aparición del torón compactado de siete alambres de mayor diámetro, que proporciona mayores cargas que el torón de diecinueve alambres del mismo diámetro, ha ido decayendo su empleo.

II.4.4 Equipo. El aspecto más importante del equipo en el pretensado consiste básicamente en la mordaza temporal que retiene a los alambres o torones durante y después del tensado. El método de tensado podrá variar, pero la mordaza no, ya que -

aún está constituida por un barril y una cuña.

Generalmente, la cuña consta de dos o tres piezas con un collar y una grapa de alambre que mantienen a ambos en la misma posición relativa. Es importante que la cuña quede fija alrededor del alambre o torón y dentro del barril en una posición concéntrica, para que todos los segmentos de la cuña se introduzcan a la misma distancia dentro del barril. La cuña tiene ranuras en la superficie en contacto con el tendón e independientemente de que se emplee varias veces deberá examinarse con cuidado previa a su uso.

En el anclaje fijo, las mordazas se presionan sobre los tendones no tensados cercanos a la placa de anclaje. En el extremo de tensado, donde los tendones son tensados en forma individual, debe colocarse la mordaza sobre el tendón no tensado, contra la placa de anclaje. Se coloca ahora el gato con el tendón y se inicia el tensado, en que el tendón se jala a través de la mordaza. Cuando se han alcanzado la carga y extensión requeridas se introduce la cuña con fuerza sobre el tendón, se afloja la carga en el gato y al tratar el tendón de jalar a través de la cuña, la obliga a correrse sobre él quedando firmemente sujeto. En caso de no utilizar toda la longitud de la mesa, se emplean uniones de doble extremidad, que permiten en la industrialización de prefabricados unir los tramos de alambre o torón, evitando así el desperdicio.

Si los tendones se estiran en forma individual, los gatos son relativamente pequeños y operan a base de electricidad,--llevan a cabo automáticamente las operaciones de tensado y an

clado, permitiendo que el tensado se efectue rápida y eficientemente.

El equipo que se requiere para el postensado depende del sistema que se utilice.

Aún cuando también podrían elegirse otros métodos para la clasificación, es conveniente agrupar los sistemas mediante el método que se adopta para el anclaje de los tendones, y -- aquí tenemos ya un sistema de tuerca roscada o a base de cuña. En la primera categoría, se encuentran el BBRV, Dividag y Macalloy.

Estos sistemas están clasificados como de tuerca roscada, debido a que, en la parte media baja del rango de fuerzas disponibles, es una contratuerca la que se apoya en una placa de acero y transmite la compresión al concreto. En la parte media superior del rango de fuerzas, el esfuerzo se transmite por medio de calzas metálicas que se insertan entre el anclaje de tensado y la placa de apoyo. En todos los casos, el elemento básico consiste en un cilindro de acero con un cierto número de agujeros axiales taladrados que acomodan los alambres por separado. El anclaje de cada alambre se efectúa mediante una cabeza redonda preformada.

Los sistemas CCL, LOSINGER, PSG, SCD y STRONGHOLD, se encuentran dentro de la categoría a base de cuñas. Todos los torones se tensan simultáneamente y se anclan por medio de cuñas que se fuerzan dentro de orificios ahusados en la cabeza de anclaje, la que transmite la fuerza al concreto a través de -- una placa de acero de apoyo.

II.5 PREESFORZADOS SIN ACERO. Se aplica generalmente en losas de concreto para carreteras o pistas de aeropuertos.

No se emplea ningún tipo de acero duro; la losa desliza sobre una base de arena, previamente compactada, para poder deformarse y así comprimirse, como se muestra en la figura - 17.

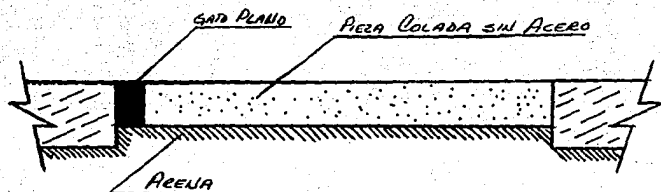


FIGURA 17

**C
A
P
I
T
U
L
O**

**III Consideraciones
grals. de diseño**

CAPITULO III
CONSIDERACIONES GENERALES
DE DISEÑO

III.1 TEORIA DE LA VIGA LIBREMENTE APOYADA.- En este capítulo se intenta dar un perfil de los elementos de la teoría -- del preesforzado; de hecho, es una extensión de la teoría de la viga libremente apoyada de acuerdo a dos suposiciones básicas:

III.1.1 Que al flexionarse la viga sus secciones transversales planas permanezcan así, y normales al eje longitudinal, y --

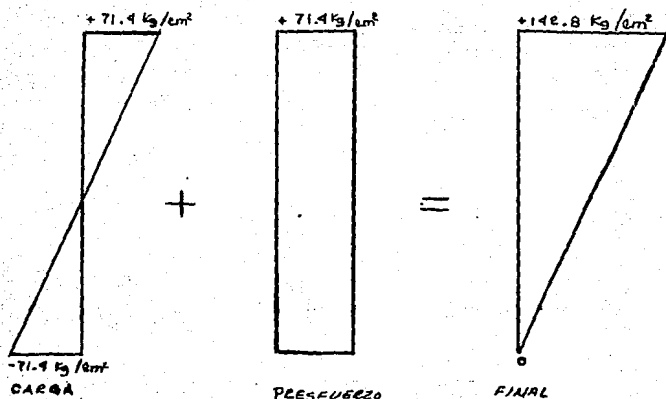
III.1.2 Que el material de la viga obedezca a la ley de Hooke.

En efecto, esto significa que la deformación unitaria en cualquier punto de la sección transversal es proporcional a la distancia del punto al eje neutro y que el esfuerzo es -- proporcional a la deformación unitaria (la cual se aplica -- únicamente para condiciones de servicio o de trabajo y no para la carga última o de colapso). En el diseño de concreto-preesforzado, es usual diseñar al miembro para condiciones de servicio y posteriormente verificar que la resistencia última proporcione el factor de seguridad requerido.

Considérese una viga rectangular libremente apoyada que -- soporta una carga vertical distribuida uniformemente. La -- configuración de esfuerzos en cualquier sección será: compresión (designado positivo) en la parte superior y tensión (de signado negativo) en la parte inferior, ambos de igual valor con los máximos al centro del claro.

Suponiendo que estos valores máximos son 71.4 Kg/cm^2 , tra

taremos de poner una compresión inicial en la viga, de tal manera que el esfuerzo de tensión nulifique esta compresión. Si la fuerza de compresión se aplica a lo largo de la línea del centro de gravedad, dará una compresión uniforme en la sección, suponiendo que también sea de 71.4 Kg/cm^2 . Los diagramas de esfuerzo son:



Si la sección transversal del miembro es A , la fuerza de compresión es $71.4A$. Si en lugar de una fuerza concéntrica, aplicamos una fuerza excéntrica, F , a una distancia, e , abajo del eje neutro, ello resulta equivalente a emplear una fuerza concéntrica F y un momento de Fe , (véase figura 18)

El momento flexionante dará lugar a esfuerzos en la viga, cuyos valores están dados por la siguiente fórmula general: -

$$\frac{M}{I} \cdot \frac{f}{y} \quad \text{ó} \quad \frac{f}{I} \cdot \frac{My}{I} = \frac{Fey}{I}$$

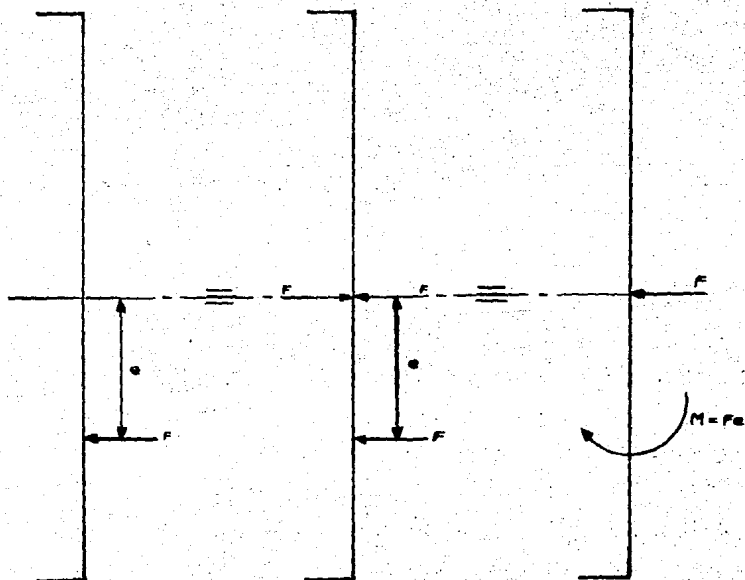
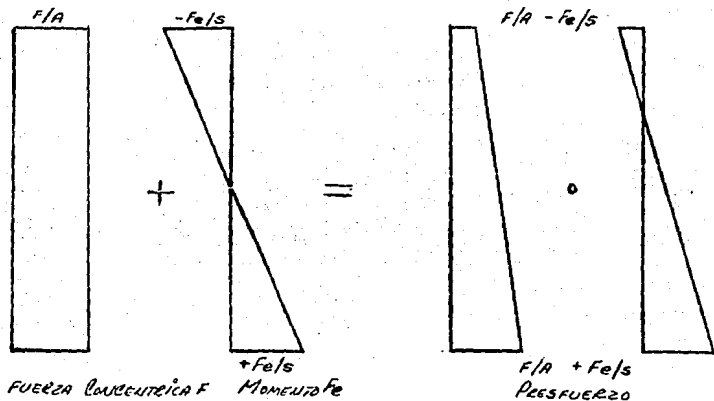


FIGURA 18

se conoce como fórmula de flexión o de la escuadría. Donde I es el segundo momento del área de la sección respecto a su --centroide; y es la coordenada de la distancia de la fibra con--siderada a la sección centroidal. Como lo que nos interesa --conocer son los esfuerzos en las fibras superior e inferior, la expresión puede escribirse como: $f = Fe/S$, donde S es el --módulo de sección para la sección superior o inferior, depen--diendo de donde se requiera el esfuerzo.

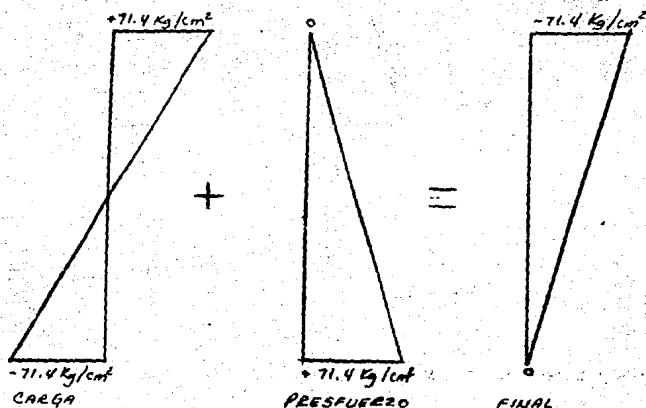
Para una sección rectangular, S será igual para las partes superior e inferior de la sección, de tal forma que el esfuer--zo en la fibra superior será $- Fe/S$ (tensión) y $+ Fe/S$ (com--presión) las configuraciones de esfuerzos serán:



El esfuerzo neto en la fibra superior será tensión o com--presión dependiendo de los valores relativos F/A y Fe/S . --

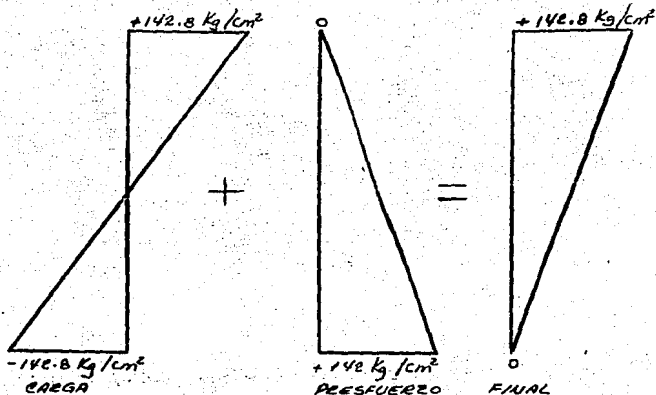
Si $e = S/A$, entonces $F/A = Fe/S$, por lo que el esfuerzo en la fibra superior será nulo. El esfuerzo en la fibra inferior será $2F/A$ ($6 Fe/S$).

Para cancelar el esfuerzo de tensión de 71.4 Kg/cm^2 en el ejemplo anterior, será suficiente una fuerza de 35.7 A aplicada con una excentricidad de S/A . Las configuraciones de esfuerzos serán:



Haciendo una comparación, puede observarse que la fuerza de preesfuerzo aplicada se reduce a la mitad en el segundo caso y lo mismo ocurre en el esfuerzo de compresión final en la fibra superior del miembro, ya que el esfuerzo permisible de compresión en condiciones de servicio normalmente es un tercio de la resistencia obtenida por medio de cubos, la resistencia requerida del concreto en el segundo caso, se redu

ce a la mitad. Por otra parte, si en ambos casos se utiliza la misma fuerza de preesfuerzo de 71.4k, la carga aplicada en el segundo puede duplicarse y el diagrama de esfuerzos final es el mismo para ambos.

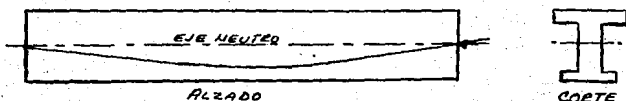


Este ejemplo numérico s6lamente cubre un caso muy sencillo demostrando el punto donde no existe tensi6n en el concreto, tanto con preesfuerzo solo como bajo carga.

En una aplicaci6n pr6ctica, en que el momento flexionante aplicado varía en toda la longitud, el asunto no es tan f6cil como el anteriormente sugerido, ya sea que la cantidad de preesfuerzo tenga que mostrar un sobrante para posiciones intermedias a lo largo del miembro (como sucede en miembros pretensados con tendones rectos totalmente adheridos) o que la excentricidad de la fuerza de preesfuerzo deba variar (como ocu

re en miembros postensados con una trayectoria curva del cable).

Para un caso más general, considerese una sección asimétrica con una trayectoria curva del cable de preesfuerzo.



Existen otras dos suposiciones:

1. La componente horizontal de la fuerza de preesfuerzo no varía a lo largo del miembro.

2. La componente horizontal de la fuerza de preesfuerzo no cambia al variar las condiciones de carga.

Para 1. la componente horizontal es $P \cos \theta$, donde θ es el ángulo entre la línea del cable y el eje neutro. Al variar θ , lo hará también la componente horizontal. En muchos casos θ es pequeño y la componente horizontal se toma igual a P . El efecto del rozamiento en el cable se desprecia también lo cual es satisfactorio en la primera etapa del cálculo y deberá considerarse hasta la etapa final.

Para 2. El cable se estirará ligeramente bajo cierta carga incrementando de igual forma el esfuerzo. Sin embargo, el efecto es pequeño y puede despreciarse sin el mayor cuidado. Esto, por supuesto, sólo es aplicable bajo condiciones normales de servicio y no bajo condiciones de carga última o sobrecargas.

III.1.3 Notación. Los símbolos a emplear serán los siguientes:

- $f_{1,i}$ Esfuerzo en la fibra inferior en la condición de --
transferencia (inicial).
- $f_{1,s}$ Esfuerzo en la fibra inferior en la condición de --
servicio.
- $f_{2,i}$ Esfuerzo en la fibra superior en la condición de --
transferencia (inicial).
- $f_{2,s}$ Esfuerzo en la fibra superior en la condición de --
servicio.
- $f_{c,i}$ Esfuerzo admisible de compresión en la condición de
transferencia (inicial)
- $f_{c,s}$ Esfuerzo admisible de compresión en la condición de
servicios.
- $f_{t,i}$ Esfuerzo admisible de tensión por flexión en la con-
dición de transferencia (inicial).
- $f_{t,s}$ Esfuerzo admisible de tensión por flexión en la con-
dición de servicio.
- M_i Momento (inicial) debido a las cargas que actúan en
las condiciones de transferencia (inicial), general-
mente sólo el peso propio del miembro.
- M_s Momento (de servicio) debido a cargas de servicio.
- M_1 Valor mínimo de $M_s - M_i$.
- M_2 Valor máximo de $M_s - M_i$.
- P Fuerza de preesfuerzo en la sección considerada en-
la transferencia (positiva)
- P_e Fuerza (efectiva) de preesfuerzo en la sección con-
siderada después de haberse presentado todas las --

pérdidas.

Po Fuerza en los tendones en el extremo del gato durante el tensado.

S₁ Módulo de sección de la parte inferior.

S₂ Módulo de sección de la parte superior.

Coefficiente de la fuerza efectiva en el tendón después de presentarse todas las pérdidas en el punto de transferencia de la sección considerada.

Los signos más utilizados son:

Momento debido a la carga aplicada:

colgante = positivo

arquesado = negativo



Esfuerzo:

compresión = positiva

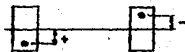
tensión = negativa



Excentricidad de la fuerza del cable:

positiva hacia abajo

negativa hacia arriba



III.2 CRITERIO DE DISEÑO.- Los criterios de diseño consisten en limitar los valores de los esfuerzos en el concreto para condiciones específicas de carga. Para el concreto presfuerzo, dichas condiciones son las siguientes:

III.2.1 Inmediatamente después de la aplicación del presfuerzo cuando sólo existe el peso propio de la viga. Esta es la transferencia (o condición inicial) y el momento que debido a las cargas se designan con M_i .

III.2.2 Después de que han ocurrido algunas de las pérdidas y

la viga soporta cargas de servicio. Estas cargas pueden ser las muertas y las vivas que se hayan sobrepuestas. Si las -- cargas producen un momento colgante positivo se le designa -- con M_2 ; si producen un momento de arqueo (negativo) se designa con M_1 .

El momento total de servicio M_s en cualquier sección es -- por lo tanto la suma de $M_i + M_2$ ó M_1 , el que sea apropiado.

Obviamente, en un miembro de un sólo claro libremente apoyado, únicamente puede ocurrir M_2 .

III.3 SECCIONES CRITICAS.- Las secciones críticas bajo cargas de servicio generalmente ocurren en las posiciones de momento máximo de servicio; sus posiciones en la transferencia dependen de la trayectoria del cable, la que a su vez depende del método de preesforzado. En caso del postensado en los miembros prismáticos, cuando la trayectoria del cable es curva para ajustarse a la envolvente de momentos de servicio, las secciones críticas en la transferencia son generalmente las mismas que las condiciones bajo carga de servicio.

Para el pretensado en los miembros prismáticos (en que se usan tendones rectos totalmente adheridos), las secciones -- críticas en la transferencia ocurren cerca de los extremos -- del miembro, así como en los extremos de las zonas de transmisión.

Para miembros no prismáticos y miembros pretensados con -- tendones desadheridos o curvados, las secciones críticas pueden ocurrir cuando tiene lugar un cambio en el tamaño de la sección, magnitud de la excentricidad o dirección de la fuer

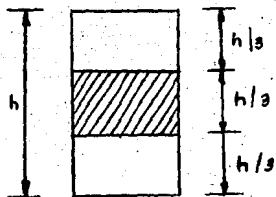
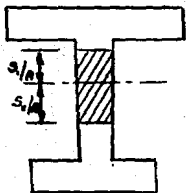
za de preesfuerzo.

III.4 ESFUERZOS PERMISIBLES.- Tanto los miembros de un sólo claro libremente apoyados sujetos a momento positivo (colgante) debido a las cargas aplicadas, como los esfuerzos en el concreto en las fibras extremas, debidos al preesfuerzo y al momento aplicado, deben satisfacer las siguientes condiciones:

III.4.1 Transferencia (inicial)

- Fibra superior: esfuerzo de tensión por flexión, $f_{t,i}$.
- Inmediatamente después de establecido el preesfuerzo (tomando en cuenta los esfuerzos debidos a M_i), los esfuerzos de tensión en el concreto no deben exceder el esfuerzo de tensión permisible si la fuerza en el cable queda fuera del núcleo central.

El núcleo central se define como la zona dentro de la cual debe quedar la fuerza del cable, evitando los esfuerzos de tensión en el concreto debidos al preesfuerzo sólo. Esta zona se extiende desde una distancia S_2/A abajo del centroide de la sección, hasta una distancia S_1/A arriba de él. Para una sección rectangular es el tercio medio.



= Si la fuerza del cable queda dentro del núcleo central se satisface esta condición, ya que la fibra superior siempre se encuentra a compresión.

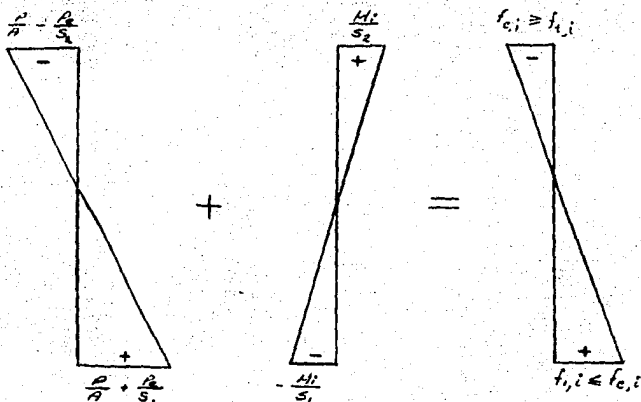
- Fibra inferior: esfuerzo permisible de compresión, f_c, i .
- = Inmediatamente después de establecido el preesfuerzo (considerando los esfuerzos debidos a M_i), los esfuerzos de compresión en el concreto no deben exceder el esfuerzo permisible.

III.4.2

Servicio.

- Fibra superior: esfuerzo permisible de compresión, f_c, s .
- = Si la fuerza del cable queda fuera del núcleo central, la condición física es aquella cuando han ocurrido las pérdidas máximas.
El esfuerzo total de compresión es el debido a M_s y el preesfuerzo no debe exceder al esfuerzo permisible en compresión.
- = Si la fuerza del cable queda dentro del núcleo central, la condición crítica puede ocurrir inmediatamente después de la transferencia, en caso de ser posible aplicar en este instante el momento de servicio, M_s .
- Fibra inferior: esfuerzo permisible de tensión por flexión f_t, s .
- = En cuanto se han presentado todas las pérdidas, el esfuerzo de tensión debido a M_s y el preesfuerzo residual no deben exceder al esfuerzo permisible de tensión.

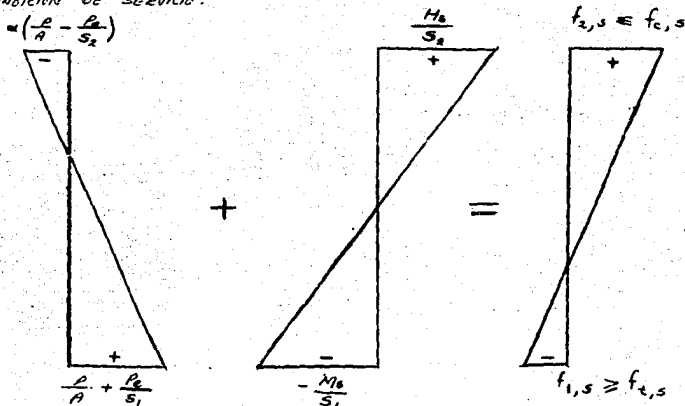
CONDICION PARA LA TRANSFERENCIA INICIAL:



SUPERIORE: $f_{c,i} = \frac{P}{A} - \frac{P_2}{S_2} + \frac{M_1}{S_2} \geq f_{c,i}$ ----- 1

INFERIORE: $f_{t,i} = \frac{P}{A} + \frac{P_2}{S_1} - \frac{M_1}{S_1} \leq f_{c,i}$ ----- 2

CONDICION DE SERVIDO:



SUPERIORE: $f_{2,s} = \alpha \left(\frac{P}{A} - \frac{P_2}{S_2} \right) + \frac{M_2}{S_2} \leq f_{c,s}$ ----- 3

INFERIORE: $f_{1,s} = \alpha \left(\frac{P}{A} + \frac{P_2}{S_1} \right) - \frac{M_2}{S_1} \geq f_{t,s}$ ----- 4

III.5

DETERMINACION DEL MODULO DE SECCION.- Al comparar las condiciones 1 y 3 y las condiciones 2 y 4 respectivamente, - podremos obtener expresiones para S_2 y S_1 de la siguiente manera:

$$S_2 \geq \frac{M_s - \alpha M_i}{f_{c,s} - \alpha f_{t,i}} \quad \text{-----} \quad 5$$

$$S_1 \geq \frac{M_s - \alpha M_i}{\alpha f_{c,i} - f_{t,s}} \quad \text{-----} \quad 6$$

Si se especifica la resistencia del concreto en las condiciones de transferencia y servicio, suponiendo un valor para α , puede en cada caso determinarse un valor para el denominador, lo cual no es tarea fácil. El primer término, M_s , es el momento máximo de servicio en el claro, en tanto que - el segundo término αM_i , depende de la sección crítica en la transferencia, la que a su vez depende de la trayectoria del cable, como ya se comentó anteriormente. Siendo los miembros de un sólo claro simplemente apoyados los que estamos - tratando, se supondrá que el momento máximo de servicio se - presentará en el centro del claro; ésto es M_s , M_2 y M_i , que son valores al centro del claro, $M_s = M_2 + M_i$.

- Postensado, trayectoria curva del cable.

La sección crítica en la transferencia será al centro del claro de manera que sustituyendo el valor de M_s en las expresiones 5 y 6 resultan:

$$S_2 \geq \frac{M_2 + (1 - \alpha) M_i}{f_{c,s} - \alpha f_{t,i}} \quad \text{-----} \quad 5a$$

$$S_1 \geq \frac{M_2 + (1 - \alpha) M_i}{\alpha f_{c,i} - f_{t,s}} \quad \text{-----} \quad 6a$$

- Pretensado, todos los tendones rectos y totalmente adheridos.

La sección crítica en la transferencia ocurre cerca de -- los extremos de la viga donde el momento inicial es despreciable; ésto es, M_i en las expresiones 1 y 2 se igualan a cero, por lo tanto:

$$S_2 \geq \frac{M_2 + M_i}{f_{c,s} - \alpha f_{t,i}} \text{ ----- } 5b$$

$$S_1 \geq \frac{M_2 + M_i}{\alpha f_{c,i} - f_{t,s}} \text{ ----- } 6b$$

Si suponemos que M_i es una proporción de M_2 , se podrán hallar los valores de S_2 y S_1 .

Resultaría extraño, al tratar de encontrar una sección adecuada, suponer un valor para el momento flexionante en el -- centro del claro debido a su propio peso, pero en todo diseño de concreto preesforzado deben hacerse algunas suposiciones con el objeto de obtener una sección conveniente. Siendo así, la validez tendrá que ser aprobada.

En caso de utilizar el método antes descrito, es posible verificar muy rápidamente si la suposición para M_i es o no -- realista.

III.6 ELECCION DE LA SECCION.- Dependiendo de la forma de -- la viga requerida, ya sea rectangular, I simétrica, etc., -- puede encontrarse ahora una sección adecuada y calcularse el momento en el centro del claro debido al peso propio. Se -- compara con el valor supuesto y se llevan a cabo las modificaciones en lo que sea necesario.

También al escoger una sección preliminar, es posible determinar el valor de S a partir del momento de carga aplicado, dividido entre la suma de los esfuerzos de servicio permisibles, agregando después un porcentaje determinado a través de la experiencia, 20% para postensado y 35% para pretensado.

Habiéndose determinado una sección, el siguiente paso será encontrar una P (fuerza de preesfuerzo) y una e (excentricidad) adecuadas. Estas pueden hallarse gráficamente dibujando un diagrama, conocido comunmente como el diagrama de Magnel, ya que fue él quien propuso este método.

Un método alternativo es usar las condiciones límites de los esfuerzos de tensión, que son las expresiones 1 y 4. La solución de éstas dos condiciones dará un valor mínimo de P y un máximo de e como se indica a continuación:

$$P_{\min} = \frac{[(M_s - \alpha M_i) + (S_1 f_{t,s} + \alpha S_2 f_{t,i})]A}{\alpha (S_1 + S_2)} \quad \text{-----} \quad 7$$

$$e_{\max} = \frac{S_2}{A} + \frac{M_i - S_2 f_{t,i}}{P} \quad \text{-----} \quad 8$$

Puede seleccionarse un tendón adecuado en el catálogo del fabricante, siempre que el peralte de la sección sea suficiente para permitir una excentricidad de e_{\max} . Además del recubrimiento. Podrá ser difícil seleccionar un tendón que cumpla exactamente con la fuerza requerida, por lo que posiblemente habrá que hacer ajustes, de tal manera que el producto de P y e se mantenga igual.

Si la excentricidad máxima es mayor que la excentricidad-

disponible en la sección, se utiliza la excentricidad máxima para hallar valores de P en las ecuaciones 1 y 4 y posteriormente se selecciona un valor adecuado que deberá quedar entre los obtenidos.

Las expresiones 1 y 4 son generales y se pueden aplicar a cualquier sección a lo largo de la viga. Hasta el momento sólo se ha considerado la sección en que se presenta la máxima flexión. En otras secciones el momento flexionante será menor y, como P permanece constante (o virtualmente así ocurre), e deberá modificarse de tal manera que los criterios se satisfagan. Esto significa comúnmente que los esfuerzos de tensión se mantienen dentro de los límites permisibles. De tal forma que las expresiones 1 y 4 quedan escritas de la siguiente manera:

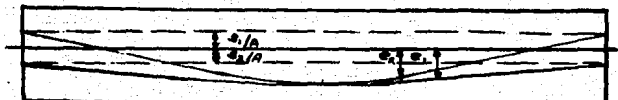
$$\text{LÍMITE INFERIOR } e_1 \leq \frac{S_2}{A} + \frac{M_i - S_2 f_{t,i}}{P} \quad \text{----- } 1c$$

$$\text{LÍMITE SUPERIOR } e_2 \geq \frac{-S_1}{A} - \frac{M_s + S_1 f_{t,s}}{\alpha P} \quad \text{----- } 4c$$

Si tenemos que S_2/A y S_1/A son respectivamente los límites inferior y superior del núcleo central y sólo son posición de las dimensiones de la sección, puede verse que los momentos de e_1 y e_2 varían de acuerdo al momento en la sección considerada. Es decir, que M_i para e_1 y que M_s para e_2 son las únicas variables en las expresiones.

Con objeto de trazar los límites a lo largo de toda la longitud de la viga, es necesario calcular los momentos en puntos a lo largo de ésta. Los límites de los cables serán

como se muestra a continuación y, si se usan valores exactos de P y e_{\max} , las curvas se tocarán en el punto de flexión -- máxima.



LIMITES DE LOS CABLES

Para una viga pretensada con tendones rectos totalmente adheridos sin admisión de tensión, el límite inferior del cable es el límite inferior de núcleo central, S_2/A , ya que M es 0 en la sección crítica cerca del extremo.

Puede ahora dibujarse, dentro de determinados límites, una trayectoria del cable que normalmente tendrá la forma de un paraboloides. Si se utiliza un sólo cable, éste se colocará en dicha trayectoria, pero si se utiliza más de uno, la trayectoria será el centro de la fuerza en los cables, ya que los cables mismos pueden ser los límites exteriores.

A continuación se presentan ejemplos de algunos elementos prefabricados preesforzados, no se pretende presentarlos todos, sino los que por su aplicación se les considera más comunes.

III.6.1 TRABES O LOSAS T. Las trabes T sencillas son usadas principalmente en entrepisos y techos. Son capaces de cubrir grandes claros y pueden solucionar grandes requisitos de carga

ga. Cada unidad puede cubrir rápidamente un largo espacio en tre columnas. Son muy populares para dar acabados aparentes. En caso de usarse en voladizos la sección última de la viga - se puede ajustar con fines arquitectónicos. Estas traveses pue den llegar a cubrir claros de 28 a 30 metros.

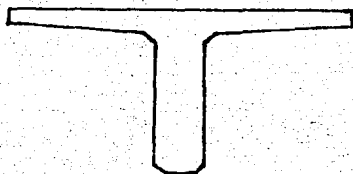


FIGURA 19

III.6.2 TRAVES O LOSAS DOBLE T. Se usan en general, para entrepi- sos, cubiertas y fachadas. El claro máximo que suelen cubrir es de 25 metros. Son excelentes para voladizos largos. Gra- cias a su diseño se pueden lograr excelentes tiempos en el -- montaje de edificios de uno o más pisos. Además de poseer ca si todas las cualidades de las traveses T, causan un efecto -- muy agradable a la vista cuando son usadas como muros exteri- res. Basándose en este diseño, pero con el peralte variable, creciendo hacia el centro del claro formando dos aguas, serán las losas nervadas empleadas en el diseño de las cubiertas in- dustriales.

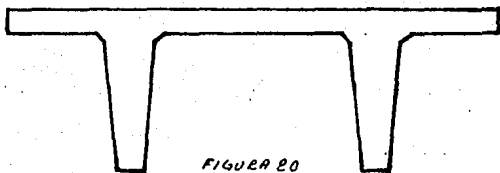


FIGURA 20

III.6.3 LOSAS Y MUROS DE CORAZON HUECO. Su mayor aplicación es en todo tipo de estructuras habitacionales y comerciales donde se requieran techos o cubiertas planas. El lado inferior sirve como techo y el lado superior sirve como piso para el nivel superior, con un bello acabado perfectamente liso. Estas losas proporcionan un efectivo aislamiento contra el ruido y sus huecos pueden ser usados para colocar todo tipo de instalaciones. Alcanzan claros hasta de 12 metros. También pueden ser usadas como muros.

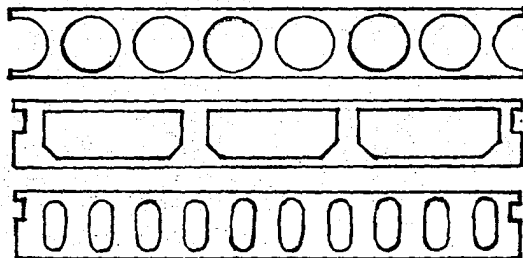


FIGURA 21

III.6.4 TRABES ACANALADAS O TRABES TC. Estas traves tienen la característica de ser un miembro estructural muy rígido con una mínima deflexión. Son ideales cuando las condiciones de cubierta o de entrepiso requieren soportar cargas muy pesadas en rangos medianos y cortos de claro. Son utilizadas frecuentemente también para la construcción de puentes.

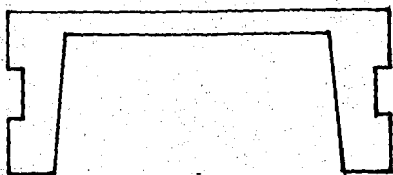


FIGURA 22

III.6.5 SECCIONES I. Las vigas I se pueden encontrar de diferentes secciones para diferentes aplicaciones, condiciones de carga y claros. Su uso principal es como soporte para sistemas de trabe-losa.

Los tipos más importantes de secciones I son los utilizados para puentes de la American Association of State Highway and Transportations Officials (AASHTO), que pueden soportar grandes cargas a lo largo de claros de hasta 36 metros.

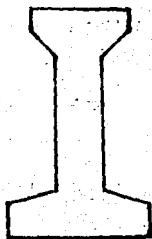


FIGURA 23

III.6.6 SECCIONES EN CAJON. Son usadas principalmente en la construcción de puentes y también se usan como soporte principal en sistemas estructurales que requieren soportar cargas muy pesadas.

Con diseños adecuados, el corazón hueco de las secciones puede dar acomodo a variados mecanismos e instalaciones.

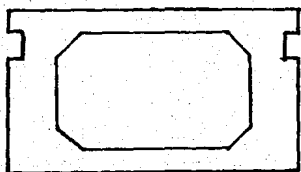


FIGURA 24

III.6.7 VIGAS T INVERTIDAS. Son muy usadas para la construcción de sistemas de pisos y techos pretensados. Son las que salvan los claros entre columnas y soportan un piso estructural. Tienen un peralte menor que las vigas rectangulares y son -- más económicas en el sentido del costo total de construcción. Son muy usadas para soportar traveses doble T y losas de corazón hueco, pero su máxima aplicación como se mencionó anteriormente se lleva a cabo mediante unas secciones de menor tamaño. Conocidas como viguetas, las cuales junto con bovedillas de arena-cemento forman un sistema de piso de mucha demanda actualmente en edificación.

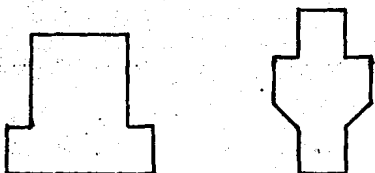


FIGURA 25

III.6.8 PILOTES Y COLUMNAS. Se usan los pilotes de concreto preesforzado para cimentaciones con pobres condiciones del suelo.- Los altos esfuerzos a los que se somete a los pilotes pueden ser resistidos mejor por pilotes preesforzados, por lo tanto, se puede lograr una sección transversal reducida, la cual proporciona una mayor penetración del pilote en el terreno. Mediante el preesfuerzo, en el hincado se reducen los esfuerzos de tensión del concreto en la cabeza del pilote y descendiendo a un mínimo las posibilidades de agrietamiento.

Las columnas prefabricadas son el componente interral del sistema prefabricado precolado: columna-trabe-losa que facilita la rápida construcción de estructuras.

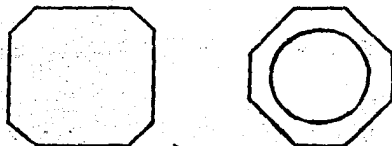


FIGURA 26

**C
A
P
I
T
U
L
O**

**IV Procedimiento
constructivo**

CAPITULO IV
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

IV.1 MONTAJE. Los distintos tipos constructivos exigen para el montaje aparatos diferentes.

El empleo de la grua depende:

IV.1.1 De la naturaleza de los elementos a montar.

IV.1.2 De las alturas a las que deben izarse los elementos y de la forma como puede ser logrado ésto por los aparatos elevadores.

IV.1.3 Del peso de las piezas prefabricadas.

IV.1.4 De las circunstancias locales, como su accesibilidad, topografía, etc.

Siempre que sea posible se empleará un sólo tipo de los aparatos de montar disponibles, porque así sólo será necesario una clase de personal de montaje en el emplazamiento de la obra. De aquí que sea preciso que los elementos tengan igual peso. Esto sólo puede lograrse especialmente en las construcciones con grandes estructuras portantes planas. En general, las piezas que forman parte del esqueleto o armadura, por tanto, de la obra son mucho más pesadas que las placas y tableros de cubierta o de paredes. Entonces habrá que emplear dos aparatos de montaje distintos, con cada uno de ellos se montaran las piezas pesadas del esqueleto y con el otro los elementos menores de pisos y paredes.

Para montaje de piezas prefabricadas preesforzadas los aparatos elevadores apropiados son:

- IV.1.4.1 Las autogrúas, sobre llantas o sobre orugas.
- IV.1.4.2 Las grúas de mástil o antena y los derrick o puntales de carga.
- IV.1.4.3 Las grúas giratorias de torre.
- IV.1.4.4 Las grúas pórtico o las de caballete.

AUTOGRUAS. Son los aparatos más apropiados para el montaje, por lo tanto, debe poder desplazarse a fin de elevar el máximo peso con un brazo de palanca lo menor posible y colocarlo en obra.

Según las condiciones para la construcción suele ser necesaria la grúa sobre orugas, de lo contrario se prefiere el autogrúa sobre llantas. Es evidente que con grúas de estas dimensiones puedan montarse sin dificultades toda clase de construcciones.

Los inconvenientes de los autogrúas son:

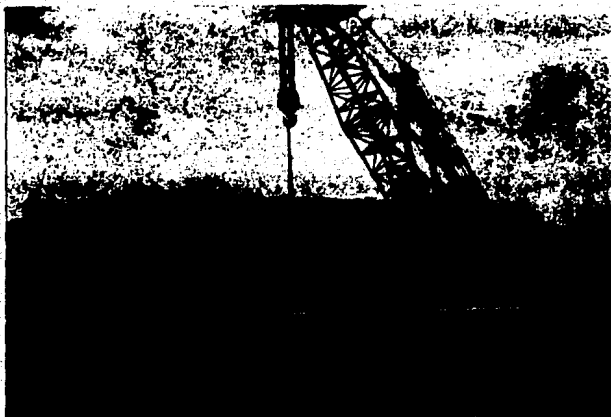
- Que carecen de precisión en su movimiento de elevación o que un equipo de tal naturaleza sería de aplicación muy costosa.

- Que su entretenimiento y funcionamiento, así como su costo de adquisición son relativamente elevados.

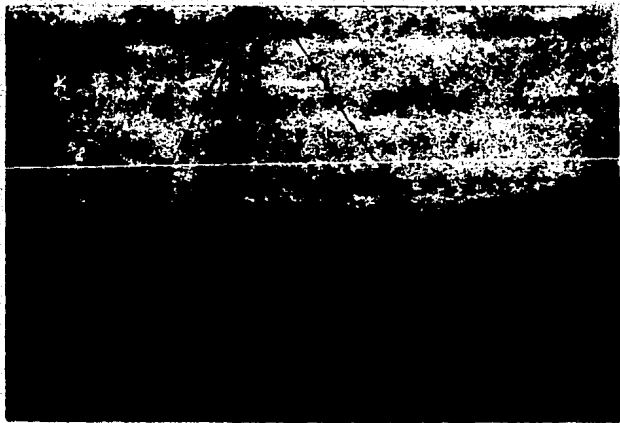
GRUAS DE MASTIL Y DERRIX. Consisten, en esencia, en un poste o mástil vertical con un pequeño brazo fijo para el montaje.

El peso es elevado con un torno o cabrestante. Son los aparatos elevadores más antiguos su principal ventaja es sencillez, y por consiguiente su bajo precio de adquisición. Por el contrario, son difíciles de mover, no pueden girar y

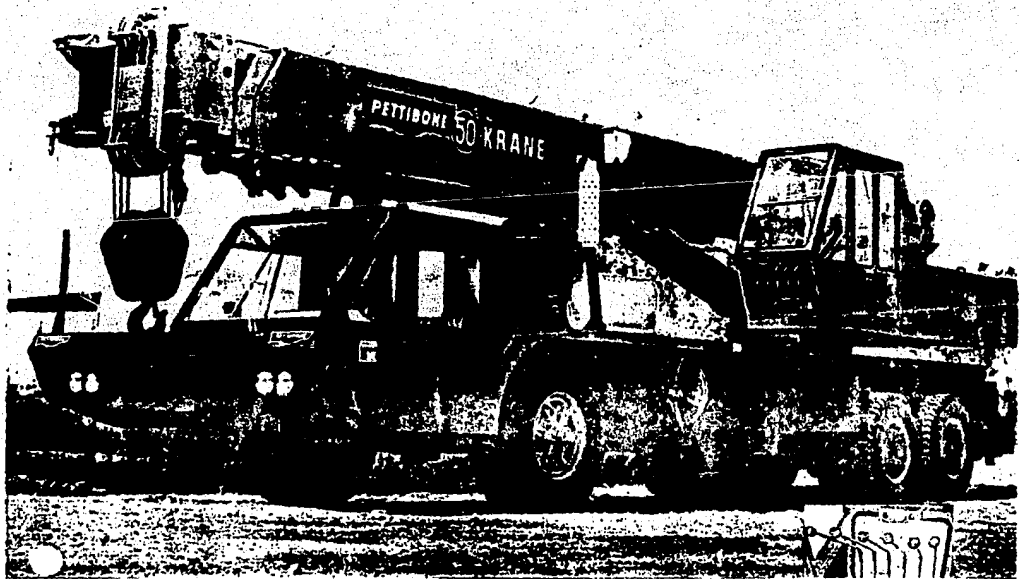
EJEMPLO ILUSTRATIVO DE MONTAJE DE PIEZAS PREFABRICADAS-PRESFORZADAS, MEDIANTE GRUA EN UNA ETAPA - DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN Puentes.



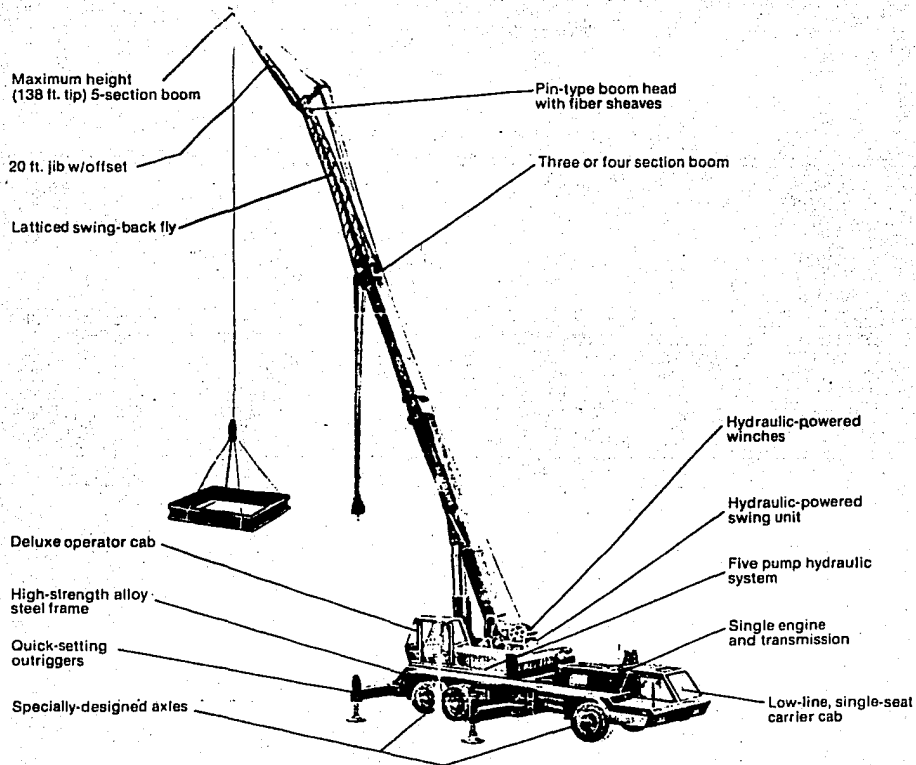








EXEMPLO ILUSTRATIVO DE GRUA



prácticamente sólo sirven para subir verticalmente los elementos. Tienen que ser montadas y desmontadas, cosa que puede también exigir bastante tiempo.

GRUAS GIRATORIAS DE TORRE. Es el aparato más usado en toda clase de obra, incluso en las construídas por los sistemas tradicionales. Esta aceptación es debida a que es muy económica.

Estas gruas son de menor interés para la construcción prefabricada y sólo se usan excepcionalmente para ciertos elementos.

GRUAS PORTICO O DE CABALLETE. Sirven para la prefabricación a pié de obra como auxiliares en el sitio donde se preparan las piezas cuando en él no se dispone de gruas puente.

Sirven también para el depósito de elementos prefabricados y, finalmente, se emplean las gruas de caballete en obras de mucha altura cuando hay que elevar grandes pesos.

El transporte aunado al montaje de piezas prefabricadas resulta ser económico gracias a los enormes progresos de la industria mecánica que tiene a su disposición hoy día medios de toda clase.

En principio, son dos los medios disponibles de transporte: por carretera y por ferrocarril.

IV.2 CONEXIONES. Como se indicó anteriormente, es éste uno de los aspectos más difíciles del proyecto de estructuras prefabricadas.

A continuación se mencionan algunos requisitos que deben reunir las conexiones:

- IV.2.1 - **Presición geométrica aceptable.** Es esencial que las conexiones cumplan unos requisitos mínimos de presión geométrica con el fin de que permitan el acoplamiento de los elementos prefabricados que integran una estructura sin necesidad de hacer ajustes, que siempre elevan el costo de los montajes fuertemente. Sin embargo, las juntas deben diseñarse con tolerancia ya que por mucho cuidado que se ponga en la fabricación tanto de éstas como de los elementos prefabricados que van a ligar, siempre existen pequeños errores de dimensiones. Por otra parte si la junta requiere un ajuste de masiado afinado las operaciones de montaje se complican.
- IV.2.2 - **Estabilidad durante el montaje.** Por regla general es aconsejable diseñar las juntas de tal manera que permitan algún grado de sujeción durante el montaje. De no ser así, es necesario utilizar obra falsa auxiliar para sujetar las piezas prefabricadas mientras se efectuan las ligas, con el consiguiente aumento de tiempos de montaje, de mano de obra y de materiales auxiliares.
- IV.2.3 - **Sencillez.** Cuanto más sencilla es una junta menos probabilidades hay de que la conexión quede defectuosa.
- El que las juntas sean sencillas aumenta la rapidez de montaje y hace posible que ésto pueda efectuarse con un número mínimo de personal especializado. Es necesario procurarlo sólomente que la junta en sí sea sencilla sino también que las preparaciones que es necesario preveer en la pieza precolada sean poco complicadas.
- IV.2.4 - **Continuidad.** El empleo de juntas que aseguran un grado

de continuidad semejante al de las estructuras monolíticas - coladas en el lugar supone siempre un ahorro de materiales - en las piezas prefabricadas debido a la posibilidad de proyectar la estructura como estructura continua.

IV.2.5 - Economía. El costo de las juntas puede representar una parte importante del costo total de una estructura prefabricada, de manera que es de gran interés el mantenerlo dentro de límites razonables por lo tanto se deben estudiar cuidadosamente los distintos factores que determinan el costo de una junta.

A continuación se reseñan los principales elementos que integran el costo de las juntas.

1. El costo de los materiales que forma la junta (placas de acero, pernos y tuercas, soldadura, neopreno, mortero, -- etc.)

2. El costo de la mano de obra necesaria tanto para formar la junta como para dejar en la pieza prefabricada las -- preparaciones que puedan requerirse.

3. El alquiler del equipo de montaje cuando el tipo de la junta obliga a que la pieza prefabricada sea sostenida mientras se efectúa la liga.

4. El costo de la obra falsa o dispositivos especiales necesarios para soportar las piezas prefabricadas mientras se efectúa la liga, cuando se prefiere éste sistema para poder liberar el equipo de montaje lo más pronto posible.

5. Resistencia al intemperismo y a efectos de los incendios. Las juntas deben tener el menor número de detalles po

sibles que puedan ser afectados por la acción del intemperismo y de los incendios. La importancia de éste requisito es variable según el tipo y la finalidad de la estructura.

En algunos casos el riesgo de incendios es relativamente pequeño y la protección contra éste no es muy importante. La oxidación de los elementos metálicos que se utilizan en algunas juntas puede constituir un problema grave en regiones litorales donde es necesario tomar precauciones especiales, evitando así que las partes metálicas queden expuestas.

7. Estética. El problema de lograr juntas de aspecto grato no es sencillo, pero puede llegarse a soluciones decorosas. En algunos casos es fácil disimular la junta, pero a veces es preferible tratarla con franqueza, con lo que puede conseguirse efectos interesantes.

Al detallar una junta debe uno preocuparse más por lograr un funcionamiento eficiente en lo que se refiere al montaje y fabricación que por afinar las cantidades de materiales necesarios y estética.

IV.3 CONSIDERACIONES GENERALES EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE Puentes PREFABRICADOS. En el campo de los puentes el uso de elementos prefabricados preesforzados se ha venido sucediendo con gran desarrollo. Dentro del concreto preesforzado pretensado las vigas T invertidas se utilizan para claros -- hasta de 16 metros. La experiencia ha mostrado que la cubierta a base de losa resultó ser la más económica en este orden, donde un método sencillo de construcción de este tipo de puente consistió en usar vigas T invertidas prefabricadas de concreto preesforzado, colocando concreto in situ entre y sobre

las vigas.

Para grandes claros hasta de 36 metros se requirió de vigas de sección en cajón e I. Las vigas en cajón se colocan una al lado de la otra con juntas in situ entre ellas, en tanto que la sección I, con separaciones mayores, se vuelve compuesta con una losa in situ en su parte superior, funcionando así como una viga T con separaciones de un metro centro a centro, obteniendo dos formas de construcción: elseudocajón y la viga T.

En elseudocajón, se coloca refuerzo transversal a través de orificios preformados en las almas de las vigas cubiertas con concreto vaciado in situ y, con el fin de completarlo, se vacía el concreto para una losa de cubierta con doble refuerzo sobre una cimbra permanente. En la viga T únicamente se vierte el concreto para la losa superior. Las vigas cubren una gama de claros desde 15 a 29 metros, pero en claros mayores se requiere el uso de tendones curvos o no adheridos.

Para el caso de los tendones curvos no adheridos se aplica el postensado. Para claros entre 10 y 60 metros, las vigas o losas preesforzadas proporcionan una forma de construcción muy eficiente. La construcción in situ es posible, aunque también se dispone de métodos más flexibles que utilizan el postensado. La losa sólida proporciona el momento resistente máximo para un peralte dado pero al costo de usar sin eficiencia gran parte de su material. Las losas huecas sirven para reducir la carga muerta y se trata de claros cortos, el costo extra de los materiales involucrados en una lo

sa sólida puede ser excedido por los de mano de obra y materiales que forman parte de una losa hueca. Los claros cortos menores a los diez metros en realidad no son económicos para el postensado, a menos que se necesite una curva en planta, que no será fácil de construir mediante unidades rectas pretensadas. Las vigas de puente son una combinación de viga y losa y, aún cuando el peralte total es mayor que con una losa sólida, el material se usa más eficientemente y requiere de una menor fuerza de preesfuerzo.

Al aumentar los claros de los puentes y aparecer los viaductos elevados, se enfocó la atención al empleo de trabes - en cajón, ya sea construidas in situ o postensadas, o bien - construidas con unidades prefabricadas más pequeñas traídas al sitio y tensadas en conjunto.

Con la construcción in situ, los moldes para una sección se proyectan en voladizo a partir de la sección de obra previamente acabada (colocándose el concreto y dejándose endurecer) y posteriormente esta sección se tensa con las demás -- cuando se encuentran ya terminadas. De este modo no existe una obra falsa de apoyo y al colar las secciones a ambos lados de la pila, los momentos de desvalanceo para conservar la estabilidad se reducen a un mínimo. Por lo tanto, el puente trabaja por sí mismo hasta llegar al centro del claro. - El tensado final se aplica ahora de manera que el preesforzado quede en posición correcta para su posición de trabajo.

Las carreteras elevadas respecto al terreno, tienden a -- utilizar un proceso constructivo diferente. Aquí se usa una

forma de construcción comunmente llamada tramo por tramo. - Se lleva a cabo el colado de concreto en una longitud igual a un claro completo, que por lo general se empieza a aproximadamente un cuarto del claro desde un apoyo, y queda un voladizo como a un cuarto del claro más allá del apoyo siguiente.

En vez de la construcción in situ, se pueden utilizar también segmentos prefabricados. Para la construcción en voladizo, generalmente los segmentos son colados en la fábrica y se transportan a la obra. El segmento se iza con el fin de colocarlo en su sitio, empleándose concreto in situ entre el segmento y la obra previamente terminada; una vez que este concreto alcanza la resistencia requerida, se aplica el preesfuerzo. En la construcción tramo por tramo, la longitud requerida se coloca sobre una obra falsa, se cuela el concreto entre los espacios libres de las unidades y se preesfuerza el tramo completo.

El uso de concreto in situ, ya sea por sí mismo o entre los segmentos prefabricados, ciertamente significa que el tensado no podrá tener lugar antes de que el concreto haya alcanzado la resistencia requerida. En Europa se ha desarrollado un método diferente a base de unidades prefabricadas. Este sistema, también conocido como contracolado, comprende el colado en segmentos de grandes porciones de puentes directamente sobre el terreno. Habiéndose colado un segmento, se usa como el molde extremo para el siguiente, lo cual asegura un ajuste preciso para el concreto y los ductos entre segmen

tos adyacentes. Se aplica un eliminador de la adherencia sobre la superficie del segmento previamente colado de tal forma que, cuando se ha colado la longitud requerida del claro, puede separarse y apilarse con facilidad cada segmento individualmente.

Para la construcción en obra, se aplica a las superficies en contacto una película delgada de resina epóxica e inmediatamente después se ejecuta el tensado. Por lo tanto, el izado puede ser mucho más rápido.

IV.3.1 Como un ejemplo ilustrativo, voy a describir el procedimiento constructivo y generalidades del diseño en el proyecto del Puente en el cruce del Gran Canal y Avenida Carlos -- Hank González, en las colonias denominadas San José Xalóstoc y Granjas Valle de Guadalupe, Estado de México.

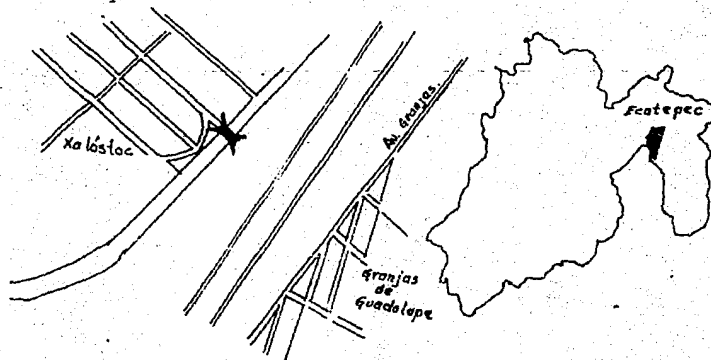
El proyecto que se propone se deriva de la importancia de satisfacer las necesidades que se han creado en esa zona, -- además de ser la única alternativa para cruzar el Gran Canal que es un accidente que separa de una manera determinante a los núcleos o asentamientos humanos situados a ambos lados -- del mismo, hecho que ha traído como consecuencia una serie -- de problemas de tipo social y a limitado notablemente su desarrollo.

La urgencia de llevar a cabo, cuanto antes esta obra es, -- además de ser, como ya se mencionó, la única alternativa para cruzar sin rodeos el canal, porque representa una pérdida de tiempo considerable llegar hasta otra vialidad de importancia donde ya no existe el problema que nos ocupa, cabe mencionar que en ambos lados del canal, ya se ha formado con el

mismo alineamiento, calles o avenidas que lógicamente están truncadas al llegar a los orillos de éste, las cuales, una vez realizado el proyecto se convertirían automáticamente en avenidas importantes que aliviaría y solucionaría los problemas vitales que se tienen en las zonas aledañas, además de comunicar estos núcleos de una manera más rápida con la zona metropolitana o con su misma cabecera municipal.

Otra alternativa sería también facilitar el auge del desarrollo industrial existente, así mismo, un posible asentamiento humano que descongestionaría el alto índice de la población del Área Metropolitana.

Croquis de localización:



IV.3.1.1 Tamaño y Tipo de la Obra:

Consiste en un puente de concreto de 35.8 metros de longitud y 9.60 metros de ancho, que alojaría dos carriles para la circulación en dos sentidos de todo tipo de vehículos automotores, con espacios a ambos lados para peatones.

Descripción Técnica de la Obra:

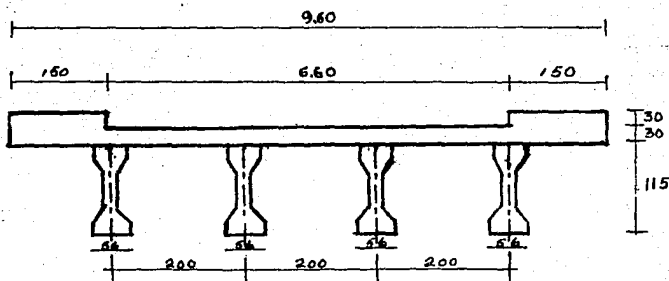
La estructura de este puente, se propone a base de elementos prefabricados de concreto, por ser más económicos que los de acero, y está soportado por unos apoyos también de concreto-armado, colados en el lugar, los que a su vez transmiten las cargas por medio de pilotes hasta una capa de material resistente situado a una profundidad de 29 metros; según los resultados obtenidos de un estudio de mecánica de suelos, que se realizó para tal efecto en el lugar.

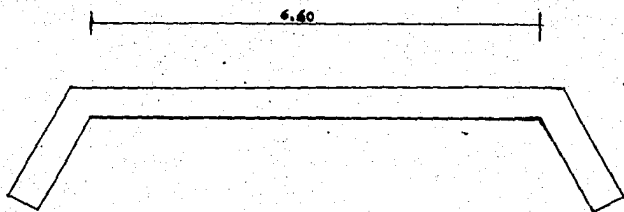
Sobre la estructura del puente se propone una losa prefabricada de concreto y sobre ésta la carpeta asfáltica con su sello, a ambos lados en el sentido longitudinal del puente - se harán terraplenes para dar los niveles requeridos, y sobre éstos el tratamiento normal de la estructura de un pavimento, con sub-base, base, carpeta y riegos.

IV.3.1.2 PUENTE. SOBRE GRAN CANAL EN AVENIDA CARLOS HANK GONZALEZ

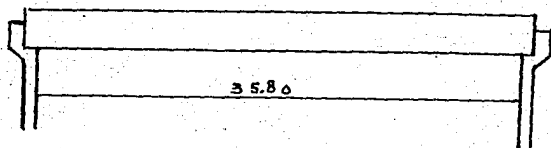
SECCION DEL PUENTE

(Preliminar)





CIARO LIBRE DE PUENTE



IV.3.1.3 Consideración de Cargas.

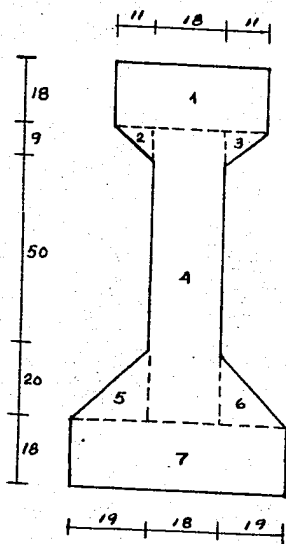
Cargas muertas.- Como carga muerta se considera la estructura, las superficies de rodamiento, banquetas, parapetos, con ductos y cables.

Las cargas, tanto muertas como vivas, deberán ser por étapa, de acuerdo a su aplicación, así tenemos:

Primera Etapa.- Peso propio de la estructura

IV.3.1.4

SECCION DE CONCRETO POR VIGA



SECCION NOMINAL AASHTO

Sección	Area	d/base	Ad
1	720	106	76,320
2	49.5	94	4,653
3	49.5	94	4,653
4	1422	57.5	81,765
5	110	24.6	2,713
6	110	24.6	2,713
7	1008	9	9,072
suma		3,469	181,889

Profundidad del centroide:

$$d/\text{base} = \frac{\sum Ad}{\sum A} = \frac{181,889}{3,469} = \underline{\underline{52.43 \text{ cm}}}$$

Cálculo de Momento de Inercia

Sección	momento Inercia	Area Y ²	Inercia Total
1	19,440	2'066,216	2'085,656
2	223	85,539	85,762
3	223	85,539	85,762
4	739,559	36,552	776,111
5	4,222	85,196	89,418
6	4,222	85,196	89,418
7	27,216	1'901,254	1'928,470

$$\text{Inercia sección} = \underline{\underline{5'140,597 \text{ cm}^4}}$$

$$S_{\text{superior}} = \frac{5'140,597}{62.57} = \underline{\underline{82.157 \text{ cm}^3}}$$

$$S_{\text{inferior}} = \frac{5'140,597}{52.43} = \underline{\underline{98.047 \text{ cm}^3}}$$

$$r = \sqrt{\frac{5'140,597}{3,469}} = 38.50 \text{ cm}$$

$$y_t = 62.57 \text{ cm} ; \quad y_b = 52.43 \text{ cm}$$

CARGA CONCENTRADA $\left\{ \begin{array}{l} 8,165 \text{ Kg para momento} \\ 11,793 \text{ Kg para cortante} \end{array} \right.$



La carga específica corresponde a un ancho carril de 3.05 m., pudiéndose considerar el ancho de cada carril de tránsito como:

$$A = \frac{Ac}{n} = \frac{620}{2} = 310 \text{ cm}$$

Para uno o dos carriles la carga no puede ser reducida, - debiéndose tomar al 100%

b) Carga viva sobre banquetas:

$$W = \frac{0.415 \times 3.0}{4} = 0.311 \text{ T/m}$$

c) Carga sobre guarnición:

$$W = \frac{0.745 \times 2.0}{4} = 0.3725 \text{ T/m}$$

d) Carga viva sobre parapetos:

$$W = \frac{0.150 \times 2.0}{4} = 0.0750 \text{ T/m}$$

e) Impacto: Se deben diseñar los elementos estructurales incrementando los efectos de la carga viva en un cierto porcentaje debido a los efectos de impacto, efecto dinámico y -

•efecto vibratorio.

$$I = \frac{15.24}{20 + 38.10} = 0.26 < 30\%$$

IV.3.1.5 RESUMEN DE CARGAS VIVAS

Carga repartida:

a) camiones	0.476
b) banquetas	0.311
c) guarniciones	0.373
d) varapetos	<u>0.075</u>
	1.235
e) impacto	<u>x 126</u>
	1.556 T/m

Carga concentrada:

$$\text{para momento} = 8.16 \times 1.26 = 10.23 \text{ Ton}$$

$$\text{para cortante} = 11.79 \times 1.26 = 14.86 \text{ Ton}$$

IV.3.1.6 ANALISIS Y DETERMINACION DE ELEMENTOS MECANICOS MAXIMOS

$$M_{\max} = \frac{WL^2}{8} + \frac{PL}{4} \quad (\text{Centro del claro})$$

ETAPA	Momento max.	Cortante max.
1	42.55 T-m	8.51 Ton
2	102.35 T-m	20.47 Ton
3	245.35 T-m	53.65 Tón

IV.3.1.7 REVISION DE CONDICIONES DE CARGA.

$$\frac{Pt}{A} \left(\frac{e \cdot yt}{r^2} - 1 \right) - Mg \frac{yt}{I} \leq 15 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{--- 1}$$

$$\frac{123,204}{3469} \left(\frac{41.9 \times 62.57}{(38.5)^2} - 1 \right) - 42.55 \times 10^5 \frac{41.9}{5.14 \times 10^6} =$$

$$27.30 - 34.69 = -7.39 \leq 15 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{Pt}{A} \left(\frac{e \cdot yb}{r^2} + 1 \right) - Mg \frac{yb}{I} \leq 210 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{--- 2}$$

$$\frac{123,204}{3469} \left(\frac{41.9 \times 52.43}{(38.5)^2} + 1 \right) - 42.55 \times 10^5 \frac{52.43}{5.14 \times 10^6} =$$

$$80.15 - 43.40 = 44.75 \text{ Kg/cm}^2 < 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$-\eta \frac{Pt}{A} \left(\frac{e \cdot Yt}{r^2} - 1 \right) + Mt \frac{Yt}{I} \leq 140 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{--- 3}$$

$$- \frac{0.85 \times 123,204}{3469} \left(\frac{41.9 \times 62.47}{(38.5)} - 1 \right) + 102.35 \times 10^5 \frac{41.9}{5.14 \times 10^6} =$$

$$- 23.21 + 83.43 = 60.22 \text{ Kg/cm}^2 < 140 \text{ Kg/cm}^2$$

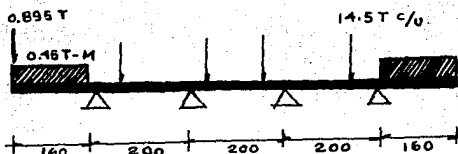
$$-\eta \frac{Pt}{A} \left(\frac{e \cdot Yb}{r^2} + 1 \right) + Mt \frac{Yb}{I} \leq 0 \quad \text{--- 4}$$

$$- \frac{0.85 \times 123,204}{3469} \left(\frac{41.9 \times 52.43}{(38.5)^2} + 1 \right) + \frac{102.35 \times 10^5 \times 52.43}{5.14 \times 10^6} =$$

$$- 74.93 + 104.4 = 29.47 \text{ Kg/cm}^2 > 0 \quad \text{eliminar tensiones}$$

IV.3.1.8

REVISION Y DISEÑO DE LOSA DE PUENTE



$$M_{\max} \text{ volado} = 0.895 \times 1.6 + \frac{0.45 \times 1.6^2}{2} = 2.008 \text{ T-m}$$

$$M'_{\text{último carga viva}} = 2.008 \times 1.7 \times 1.26 = 4.30 \text{ T-m}$$

$$M \text{ carga muerta} = \frac{0.480 \times 1.6^2}{2} = \frac{0.614 \text{ T-m}}$$

$$\text{momento último} = 5.16 \text{ T-m}$$

$$\frac{M_u}{\phi b d^2 f'_c} = \frac{5.16 \times 10^5}{0.9 \times 100 \times 12^2 \times 0.8 \times 250} = 0.199$$

$$W = 0.224 \quad \rho = 0.0133 \quad A_s = 16 \text{ cm}^2$$

$$\# 4 @ 8 \text{ cm}$$

Aumentar peralte de losa a 20 cm

$$- M_u = 4.30 + 1.075 = 5.375 \text{ T-m}$$

$$\frac{M_u}{\phi b d f'_c} = \frac{5.375 \times 10}{0.5 \times 100 \times 17^2 \times 0.8 \times 250} = 0.103$$

$$W = 0.109 \quad \rho = 0.00651 \quad A_s = 11.06 \text{ cm}^2$$

$$\# 4 @ 11.5 \text{ cm.}$$

IV.3.1.9

1 y 2, DISEÑO DE SECCION SIMPLE.
 ESPECIFICACION DE MATERIALES Y ESFUERZOS LIMITE

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

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{su} = 17,500 \text{ Kg/cm}^2$$

considerando $a = 0.8 \text{ yb} = 0.8 \times 52.43 = 41.9 \text{ cm}$

$$P_t = \frac{42.55 \times 10^5}{41.9} = 101,551 \text{ Kg}$$

$$f_{st} = \phi (0.70 f_{su} - 704) = 0.95(0.7 \times 17,500 - 704)$$

$$= 10,969 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{101,551}{10,969} = 9.26 \text{ cm}^2$$

Usar $\frac{9.26}{0.702} = 13$ Torones $1/2 \phi$

Usando 16 Torones $\phi 1/2$ " alcanzamos

$$P_t = 16 \times 0.702 \times 10,969 = 123,254 \text{ Kg}$$

IV.3.1.10

ESFUERZOS PERMISIBLES

Compresión

En transferencia Después de pérdidas

$$0.6 f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2 \quad 0.4 f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión

$$3 \sqrt{0.07 f'_c} = 15 \text{ Kg/cm}^2$$

$$M_{\max} \text{ por c.v.} = \frac{14.5 \times 2}{4} = 7.25 \text{ T-m}$$

$$M_{\max} \text{ por c.m.} = \frac{0.60 \times 20^2}{8} = 0.30 \text{ T-m}$$

$$9.73 \text{ T-m}$$

$$\frac{M_u}{\phi b d^2 f'_c} = \frac{9.73 \times 10^5}{0.9 \times 100 \times 17^2 \times 0.8 \times 250} = 0.187$$

$$W = 0.209$$

$$p = 0.0124$$

$$A_s = 21.08 \text{ cm}^2$$

$$\# 4 @ 6 \text{ cm.}$$

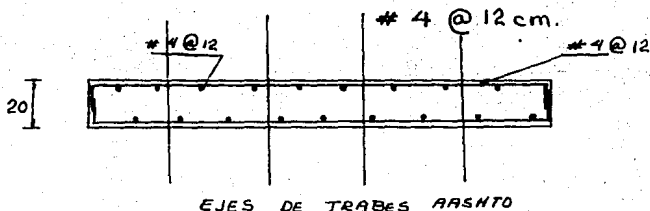
Considerando que la aplicación del tren de cargas (camión HS - 20) presupone una separación de ejes de 4.27 m tomará un ancho tributario de 200 cm.

$$\frac{M_u}{\phi b d^2 f'_c} = \frac{9.73 \times 10^5}{0.9 \times 200 \times 17^2 \times 0.8 \times 250} = 0.094$$

$$W = 0.098$$

$$p = 5.85 \times 10^{-3}$$

$$A_s = 9.95 \text{ cm}^2$$



Con objeto meramente indicativo, se mencionan las principales acciones a considerar:

IV.3.2 PUENTES DE CAMINOS

Para el caso de puentes de caminos, tanto las especificaciones de la Secretaría de Obras Públicas como las especificaciones americanas AASHTO, señalan que los elementos estructurales integrantes de un puente, deben ser diseñados para soportar ciertas cargas o acciones. Se enlistan algunas de ellas:

a) Carga muerta (C.M.).- Consiste en el peso de la estructura, incluyendo las superficies de rodamiento, banquetas, parapetos, vías, tuberías, conductos, cables, etc.

En la tabla adjunta se indican los pesos volumétricos que se emplean para determinar las cargas muertas:

Acero o acero fundido	7850 Kg/m ³
Fierro fundido	7800 "
Aluminio, aleaciones	2300 "
Madera	800 "
Concreto simple	2,300 "
Concreto reforzado	2,400 "
Mampostería de piedra, sillar	2,720 "
Arena, tierra, grava o balasto, compactados	1,920 "
Arena, tierra y gravas sueltas	1,600 "
Grava compactada con aplanadora	2,240 "
Relleno de escorias	960 "
Pavimento que no sea bloque de madera	2,400 "

Vía de F. C. (riel, guarderriel y accesorios
de vía) por metro lineal de vía 298 Kg
Tablón asfáltico (25 mm. de espesor) 1,730 Kg/m³

b) Carga viva (C.V.).- Corresponde al peso de la carga móvil aplicada, correspondiente a camiones, coches o peatones.

- Carga viva de camiones.- Esta carga viva se define - mediante camiones tipo o bien, mediante carga uniformemente-distribuida sobre un carril que equivale a un convoy de camiones.

Carga tipo H.- Consiste en camiones de dos ejes o bien -- carga uniforme actuando sobre un carril. Se designa por la - letra H seguida del peso bruto del camión en toneladas inglesas (una tonelada inglesa igual a 2000 libras)

Se tienen tres tipos de cargas H, a saber:

- H 20-44
- H 15-44
- H 10-44

Carga tipo HS.- Consiste en un camión tractor con semiremol que o carga uniformemente distribuida sobre un carril. Se de signa por las letras HS seguidas del peso bruto del camión en toneladas inglesas. Se tienen:

- HS 20-44
- HS 15-44

Carga Mínima.- Para caminos principales o aquellos en los que circulen camiones pesados, la carga mínima aplicable es - HS 15-44.

Carriles de tránsito.- La carga tipo antes especificada, ocupa un ancho de 3.05 m., sin embargo, debido a que el ancho de calzada se establece por otras condiciones, se puede considerar que el ancho de cada carril de tránsito es el que se obtiene de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Ac}{n}$$

Ac = Ancho de calzada entre guarniciones sin contar la faja central.

n = Número de carriles de tránsito (de acuerdo con la tabla siguiente)

A = Ancho de carril de tránsito para proyecto.

Ac	n
De 6.10 a 9.14 m.	2
De 9.15 a 12.80 m.	3
De 12.81 a 16.46 m.	4
De 16.47 a 20.12 m.	5
De 20.13 a 23.77 m.	6
De 23.78 a 27.43 m.	7
De 27.44 a 31.09 m.	8
De 31.10 a 34.75 m.	9
De 34.76 a 38.40 m.	10

Los camiones podrán ocupar cualquier posición dentro de su carril individual de tránsito para proyecto (A), estableciendo la posición que produzca la condición crítica.

IV.3.2.1

REDUCCION DE INTENSIDAD DE LA CARGA VIVA.- Se podrán reducir los efectos de la carga viva de camión actuando en cada -

línea debido a que la posibilidad de que se presenten simultáneamente las condiciones críticas en todas las líneas, es muy remota. La reducción se hace de acuerdo con la siguiente tabla:

1 y 2 carriles	100%
3 carriles	90%
4 o más carriles	75%

- Carga sobre banqueta.- Esta carga viva se establece de acuerdo con las siguientes condiciones:

A.- Para el diseño de pisos, largueros y apoyos inmediatos a las banquetas se debe considerar una carga viva de pea tonos de 415 Kg/m^2 por área de banqueta.

B.- Para traveses de sección compuesta, armaduras principales, etc., la carga viva considerada será de acuerdo con la siguiente tabla:

- Claros de 0 a 7.62 m 415 Kg/m^2
- Claros de 7.63 a 30.48 m 293 "
- Claros de más de 30.49 m; de acuerdo con la siguiente fórmula:

mula:

$$P = \left(146 + \frac{4464}{L}\right) \left(\frac{16.76-A}{15.24}\right) \leq 293 \text{ Kg/m}^2$$

L = Longitud de banqueta cargada en metros.

A = Ancho de banqueta en metros.

P = Carga viva sobre banqueta en Kg/m^2

- Carga viva sobre guarnición.- Se diseñan las guarniciones para resistir una fuerza de 745 Kg/m de guarnición-aplicada a 25 cm del piso.

- Carga viva sobre banqueteta de emergencia.

- Para anchos menores o iguales a 60 cm no se considera carga viva aplicada sobre ella.

- Para anchos mayores de 60 cm se establece una carga viva como la indicada en el punto II.

- Carga viva sobre parapetos.- Los parapetos se deberán diseñar para resistir una fuerza lateral horizontal de 223 Kg/m y una fuerza vertical de 150 Kg/m aplicadas ambas en la parte superior del parapeto.

c) Impacto I.- Los elementos integrantes de la superestructura de un puente, así como las columnas de acero o concreto, torres de acero, etc. y algunos casos los pilotes de cimentación, se deberán diseñar incrementando los efectos de la carga viva, en un cierto porcentaje debido a los efectos de impacto, efecto dinámico y efecto vibratorio de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{15.24}{L+38.70} \leq 30\%$$

I = Impacto en por ciento.

L = Longitud en metros del claro cargado.

d) Carga de viento.- Los elementos de un puente deberán calcularse con las siguientes cargas de viento:

Carga de viento sobre estructura (V.E).- Se debe considerar una carga horizontal de viento actuando sobre la

estructura que puede variar de 244 o 356 Kg/m^2 del área ex-
puesta del puente, con un mínimo de 447 Kg/m lineal de puen-
te. El área expuesta del puente es la suma de todas las pro-
yecciones verticales de las áreas de todos los elementos que
integran el puente y que están sometidos a la acción del - -
viento.

IV.3.3

VOLUMENES DE OBRA PARA LA CONSTRUCCION DEL ---
 PUENTE CON CRUCE EN EL GRAN CANAL CORRESPON-
 DIENTE A LA AVENIDA CARLOS HANK GONZALEZ.

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
A-1	A.- PRELIMINARES Trazo y nivelación del área total.	M ³	1,126.20
A-2	Relleno compactado con material de banco en - terraplen.	M ³	157.94
A-3	Suministro e incado de pilote de concreto ti- po fricción de 60x60 - cms.	M	244.08
A-4	Demolición de cabezas de pilote	pza.	6.00
B-1	B.- APOYOS DE CONCRETO Excavación a mano en - mat. II a) de 0.00 a 2.00 M. - de prof. b) de 2.01 a 4.00 M. - de prof.	M M	157.64 157.64
B-2	Plantilla de concreto- f'c=100 kg./cms	M ²	34.60
B-3	Cimbra común en apoyos	M ²	370.14
B-4	Acero de refuerzo fy - 4200 kg./cms. a) Varilla Ø 4 b) Varilla Ø 6 c) Varilla Ø 8	Tons. Tons. Tons.	6.12 9.18 16.32
B-5	Concreto f'c=250 Kg/-- cms.	M ³	105.10
B-6	Relleno compactado con mat. producto de esca- vación.	M ³	210.18
C-1	C.- ESTRUCTURA Viga de concreto proco- lada tipo I de 1.05 M ² incluye suministro y - colocación	M	69.56 127

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
C-2	Pintura de esmalte dos - manos en parapeto.	M	69.70
D-1	D.- PRECOLADOS Losa precolada con peral te de cms. sobre apoyos precolados.	M ³	319.99
E-1	E.- GUARNICIONES Y BANQUE TAS. Guarnición trapezoidal - 15x20x60 cms. en accesos a puente	ML	155.04
E-2	Banqueta de concreto f'c= 150 kg/cms . de 12 cms. de espesor.	M ³	60.52
E-3	Parapeto metálico con - perfil tubular comercial	M	69.56
E-4	Excavación de terraplen- entre apoyos de origen e intermedio.	M ³	157. 94
F-1	F.- PAVIMENTOS Corte en caja mat. II	M ³	241.86
F-2	Sub-base de grava tepeta te de 15 cms.	M ³	806.21
F-3	Base de grava tepetate- de 15 cms.	M ³	806.21
F-4	Carpeta de concreto as- fáltica de 5 cms.	M ³	1,126.20
G-1	G.- ACARREOS Carga manual y acarreo- a tiro del material pro ducto de excavación.	M ³	504.90
G-2	Señalización e interferen- cias.	Lote	1.00

YESIS CON FALLAS DE ORIGEN

IV.3.4

PRECUESTO DE LA OBRA PARA LA CONSTRUCCION DEL
PUENTE CON CRUCE EN EL GRAN CANAL CORRESPONDIENTE
TE A LA AV. CARLOS HANK CONVALES.

" R E S U M E N "

A.- PRELIMINARES	\$ 12'155,535.20
B.- AFOYOS DE CONCRETO	14'900,283.48
C.- ESTRUCTURA	15'359,683.72
D.- PRECCLADOS	15'897,103.20
E.- GUARNICIONES Y BANQUETAS	2'389,220.44
F.- PAVIMENTOS	3'266,011.86
G.- ACARREOS	1'008,093.28
	<hr/>
	64'975,931.18
15% DE I.V.A.	<hr/>
	9'746,389.68
	<hr/>
	74'722,320.86
	=====

IV.3.5 PROGRAMA DE OBRA DEL PUENTE: CRUCE DEL GRAN CANAL CON LA AVENIDA CARLOS HANK GONZA
LEZ, COL. GRANJAS DE GUADALUPE.

A. PRELIMINARES	██████████					
B. APOYOS DE CONCRETO		██████████				
C. ESTRUCTURA			██████████			
D. PRECOLADOS				██████████		
E. GUARNICIONES Y BANQUETAS					██████████	
F. PAVIMENTOS						██████████
G. ACARREOS						██████████

INVERSION:

MONTO PARCIAL	12,155	14,900	15,359	15,807	6,563
MONTO ACUMULADO	12,155	27,055	42,415	58,312	64,975

NOTA: ESTE PROGRAMA ESTA SUJETO A DIAS CALENDARIO.

IV.3.6 BENEFICIOS ESPERADOS DEL PROYECTO

Con la realización de esta obra, se beneficiarán directamente los habitantes de la colonias aledañas a esta zona, cuya población es considerable; se comunicarán entre sí los núcleos situados a ambos lados del gran canal y de hecho se unirán -- otras vialidades de mayor importancia como son la vía Morelos y la Av. Central, se reducirán los tiempos empleados en trasladarse a los puntos importantes ya sea del área metropolitana o del mismo municipio.

IV.3.7 REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA LA OPERACION, MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE LA OBRA.

Será necesario destinar una partida de presupuesto para estos conceptos, y de esa manera aumentar la vida útil de la obra, sobre todo en lo que respecta a mantenimiento y conservación, como ejemplo, la pintura, limpieza y trabajos de bacheo cuando así se requiera.

CONCLUSIONES

Los Elementos Prefabricados-Preesforzados, se van estableciendo en la Industria de la Construcción debido a la creciente demanda que han tenido, especialmente en Obras de Construcción Pesada donde los inconvenientes que se pudieran tener -- con factores como: tiempo, materiales faltantes en obra o incrementos en mano de obra, se eliminan, pero surgen otros que también requieren de cuidado, los de mayor importancia entre otros, son: Anclajes o Conexiones adecuadas y Mano de Obra especializada.

La mano de obra especializada podría ser en lugar de inconveniente, un avance al requerirse la capacitación del personal que efectúe la erección de la estructura.

Al elegir los tipos de materiales que van a ser adquiridos por el Ingeniero, los precolados, prefabricados y prefabricados-preesforzados, forman un amplio panorama en el momento de la toma de decisiones. En el Diseño y la Construcción de Estructuras que requieren la utilización de cimbras complicadas para salvar grandes claros, como es el caso de los puentes, - los Elementos Preesforzados son la solución, o así también, - en el caso de tener en el Diseño las secciones necesarias que puedan adaptarse perfectamente a las que ya existen en los catálogos de los proveedores, sólo se requiere una buena programación.

Por lo que mi mayor anhelo es esperar que el trabajo de investigación al respecto realizado en esta tesis, sirva para -

introducir en su estudio a estudiantes e ingenieros que requieran ampliar sus conocimientos y enfocar su interés para continuar investigando en lo sucesivo los progresos técnicos que se tengan dentro de la industria de la construcción, con la utilización de esta tecnología.

B I B L I O G R A F I A

- La Prefabricación en la Construcción. Maurice Revel.
- Diseño de Estructuras - de Concreto Preesforzado. Arthur H. Nilson.
- Diseño de Estructuras - de Concreto Preesforzado. T. Y. LIN.
- Introducción al Concreto Preesforzado. A. H. ALLEN.
- Prefabricación Teoría y - Práctica. Seminario de Prefabricación. J. A. Fernández Ordoñez.
- Prefabricación de Estructuras de Concreto. IMCYC - 1964 Robles F. F.
- Elementos Prefabricados - de Hormigón en la Construcción. Moderna Asociación Técnica de derivados del Cemento.
- Seminario de Concreto Preeforzado. Colegio de Ingenieros Civiles.

I N D I C E

	INTRODUCCION.....	5
	CAPITULO I GENERALIDADES.....	6
I.1	La Industria de la Construcción.....	7
I.2	Qué es la Prefabricación.....	8
I.3	Ventajas y Desventajas.....	6
I.3.1	Economía en Cimbra y Obra Falsa.....	8
I.3.1.2	Economía en Mano de Obra.....	9
I.3.1.3	Economía en materiales.....	9
I.3.1.4	Rapidez de Ejecución.....	9
I.3.1.5	Recuperabilidad.....	10
I.3.2.1	Necesidad de invertir en Equipo Especial	10
I.3.2.2	Dificultad del Diseño de Juntas y Conexiones.....	10
I.3.2.3	Escases de Rigidez de algunas Estructuras Prefabricadas.....	11
I.3.2.4	Necesidad de una supervisión cuidadosa.	11
I.3.2.5	Necesidad de Programar y Proyectar en Detalle.....	11
I.3.2.6	Pérdidas por Rotura de Elementos Prefa- bricados durante su Transporte y Montaje	11
I.3.2.7	Necesidad de proveer con anticipación la colocación de ductos y otros deta- lles constructivos.....	12
I.4	Concreto Preesforzado.....	14
I.4.1	Principios de Preesfuerzo.....	19
	CAPITULO II ELECCION DE TIPO.....	23
II.1	Prefabricación Ligera.....	24
II.1.1	Elementos de Prefabricación Ligera.....	24
II.2	Prefabricación Industrial.....	25
II.2.1	Pilotes para Cimentaciones.....	26
II.2.2	Tablestacas de Concreto Armado.....	30
II.2.3	Techos y Pisos.....	32
II.3	Prefabricación Pesada.....	40
II.4	Preesforzado con Acero.....	40
II.4.1	Pretensado.....	43

II.4.2	Postensado.....	50
II.4.3	Materiales.....	56
II.4.3.1	Concreto.....	56
II.4.3.2	Acero.....	60
II.4.4	Equipo.....	64
II.5	Preesforzado sin Acero.....	67
	CAPITULO III CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO.....	68
III.1	Teoría de la Viga Librementemente Apoyada...	69
III.2	Criterios de Diseño.....	77
III.3	Secciones Criticas.....	78
III.4	Esfuerzos Permisibles.....	79
III.4.1	Transferencia Inicial.....	79
III.4.2	En Servicio.....	80
III.5	Determinación del Módulo de Sección....	82
III.6	Elección de la Sección.....	83
III.6.1	Trabes o Losas T	86
III.6.2	Trabes o Losas Doble T	87
III.6.3	Losas y Muros de Corazón Hueco.....	88
III.6.4	Trabes Acanaladas o Trabes TC	88
III.6.5	Sección I	89
III.6.6	Sección en cajón.....	89
III.6.7	Vigas T invertidas.....	90
III.6.8	Pilotes y Columnas.....	91
	CAPITULO IV PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	92
IV.1	Montaje.....	93
IV.2	Conexiones.....	101
IV.3	Consideraciones generales en el Proceso Constructivo de Puentes Prefabricados.....	104

IV.3.1	Ejemplo Ilustrativo.....	108
IV.3.1.1	Tamaño y Tipo de la Obra.....	109
IV.3.1.2	Sección del Puente.....	110
IV.3.1.3	Consideraciones de Cargas.....	111
IV.3.1.4	Sección de Concreto por Viga.....	112
IV.3.1.5	Resumen de Cargas Vivas.....	116
IV.3.1.6	Análisis y Determinación de Elementos Mecánicos Máximos.....	116
IV.3.1.7	Revisión de Condiciones de Carga.....	117
IV.3.1.8	Revisión y Diseño de Losa de Puente...	118
IV.3.1.9	Diseño de Sección Simple.....	119
IV.3.1.10	Esfuerzos Permisibles.....	119
IV.3.2	Puentes de Caminos.....	121
IV.3.3	Volúmenes de Obra para la Construcción del Puente.....	127
IV.3.4	Presupuesto de la Obra para la Cons- trucción del Puente.....	129
IV.3.5	Programa.....	130
IV.3.6	Beneficios esperados del Proyecto.....	131
IV.3.7	Requerimientos necesarios para la Operación, Mantenimiento y Conserva- ción de la Obra.....	131
	CONCLUSIONES.....	132
	BIBLIOGRAFIA.....	134