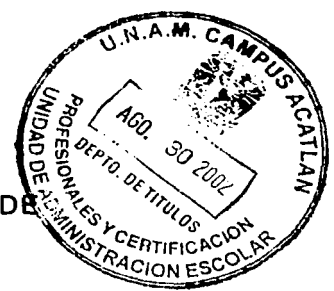


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES "ACATLAN"

"PROCEDIMIENTO DE CAMPO RECOMENDADO PARA LA  
INSTALACIÓN Y TENSADO DE CABLES DE PRESFUERZO  
TIPO MONOTORÓN NO ADHERIDO EN SISTEMAS DE PISO  
DE CONCRETO PARA EDIFICACIONES EN AMBIENTES NO  
CORROSIVOS"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL



P R E S E N T A  
JUAN CARLOS ORTIZ TORRES



ASESOR : ING. VÍCTOR JESÚS PERUSQUIA MONTOYA

NAUCALPAN. ESTADO DE MÉXICO

SEPTIEMBRE DE 2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*A mis padres, quienes me apoyan en todo momento de mi vida y no me dejan seguir equivocándome. A ellos, a quienes les debo lo que soy y lo que quiero ser. A lo mejor de mi vida y lo que más quiero, a mis padres:*

*Julia Torres Reyes  
Marcelo Ortiz Mascote*

*A mis hermanos a quienes quiero y me apoyan en todo momento:*

*Deisy  
Moisés  
Miguel*

*Al sueño que hará latir mi corazón.....*

*A mi asesor Ing. Víctor Jesús Perusquia Montoya por apoyarme en la realización de esta tesis y por sus innumerables consejos y enseñanzas que me hicieron y harán aprender de la ingeniería.*

*A mi Universidad Nacional Autónoma de México*

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Leon Carlos Ortiz Torres

FECHA: 30 Agosto 2002

FIRMA: 

# **PROCEDIMIENTO DE CAMPO RECOMENDADO PARA LA INSTALACIÓN Y TENSADO DE CABLES DE PRESFUERZO TIPO MONOTORÓN NO ADHERIDO EN SISTEMAS DE PISO DE CONCRETO PARA EDIFICACIONES EN AMBIENTES NO CORROSIVOS**

## **OBJETIVOS**

**Objetivo general.-** Proponer un procedimiento general para la instalación y tensado de cables de presfuerzo tipo monotorón no adherido en sistemas de piso de concreto para edificaciones en ambientes no corrosivos.

**Capítulo 1. objetivo.-** Establecer el principio y características generales sobre el cual está basado el funcionamiento del concreto presforzado.

**Capítulo 2. Objetivo.-** Establecer las condiciones generales sobre las cuales está basado el funcionamiento del concreto postensado, y las características de los materiales, equipos y de instalación que intervienen en los sistemas de piso de concreto en edificaciones.

**Capítulo 3. Objetivo.-** Proponer un procedimiento general para el habilitado e instalación de cable de presfuerzo tipo monotorón no adherido en sistemas de piso de concreto en edificaciones, en ambientes no corrosivos.

**Capítulo 4. Objetivo.-** Proponer un procedimiento para la aplicación del tensado de cables de presfuerzo tipo monotorón no adherido en sistemas de piso de concreto en edificaciones, en ambientes no corrosivos.

## **ÍNDICE**

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 1. CONCRETO PRESFORZADO.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 El concreto.....</b>	<b>6</b>
1.1.1 La mezcla de concreto.	
1.1.2 Propiedades del concreto.	
1.1.3 Aditivos para concreto.	
<b>1.2 El acero .....</b>	<b>13</b>
1.2.1 Clasificación del acero.	
1.2.2 Características del acero .	
<b>1.3 Concreto reforzado.....</b>	<b>17</b>

<b>1.4 Concreto presforzado.....</b>	<b>19</b>
1.4.1 Tipos de presfuerzo.	
1.4.2 Perdidas de presfuerzo.	

**CAPÍTULO 2. CONCRETO POSTENSADO.....25**

<b>2.1 El concreto postensado.....</b>	<b>25</b>
2.1.1 Principio del concreto postensado.	
2.1.2 Sistemas para postensar.	
2.1.3 Perdidas de presfuerzo en el concreto postensado.	

<b>2.2 Materiales empleados en el concreto postensado.....</b>	<b>33</b>
2.2.1 El concreto.	
2.2.2 Acero de presfuerzo.	
2.2.3 Acero de refuerzo en el concreto postensado.	
2.2.4 Corrosión y fatiga.	
2.2.5 Certificación de calidad de los materiales.	

<b>2.3 Equipo para tensado.....</b>	<b>39</b>
-------------------------------------	-----------

<b>2.4 Disposición general de tendones en losas y trabes en edificaciones de concreto postensado.....</b>	<b>41</b>
2.4.1 Disposición vertical de los tendones.	
2.4.2 Disposición horizontal.	
2.4.3 Acero de refuerzo en anclajes y tolerancia en deformación de tendones.	

**CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA MONOTORÓN NO ADHERIDO.....47**

<b>3.1 Planos de presfuerzo.....</b>	<b>47</b>
3.1.1 Tipos de planos para la instalación del sistema postensado.	
3.1.2 Características generales de los planos para la instalación del sistema postensado.	

<b>3.2 Habilitado de cable.....</b>	<b>57</b>
3.2.1 Longitud de habilitado.	
3.2.2 Cálculo de la longitud de habilitado.	
3.2.3 Acuñaado de anclaje pasivo.	

<b>3.3 Instalación de monotorón no adherido.....</b>	<b>61</b>
3.3.1 Instalación de soportes.	
3.3.2 Instalación de cable.	

<b>3.4 Fijación de anclajes.....</b>	<b>65</b>
3.4.1 Procedimiento para la colocación de anclajes.	
3.4.2 Refuerzo en anclajes.	

**3.5 Revisión antes del colado de concreto.....70**

**3.6 La seguridad durante la instalación.....71**

**CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO DE TENSADO PARA EL SISTEMA MONOTORÓN NO ADHERIDO.....72**

**4.1 Limpieza de anclajes activos.....72**

**4.2 Tensado de monotorón.....75**

4.2.1 Revisión e instalación de equipo de tensado.

4.2.2 Marcado de cables para tensar.

4.2.3 Procedimiento de tensado de cables.

4.2.4 Registro de alargamientos.

**4.3 Terminado de cables.....80**

**4.4 Control de resultados.....81**

**4.5 Medidas de seguridad durante el tensado.....81**

**CONCLUSIONES.....83**

**APÉNDICE .....85**

- 1- Fotografías de instalación y tensado de cables de presfuerzo tipo monotorón no adheridos, colocados en un sistema de piso de concreto a base de trabes y nervaduras (losa aligerada) en un edificio de departamentos con 22 niveles, ubicado en el Club de Golf Lomas Country en Interlomas Estado de México.

**GLOSARIO.....98**

**BIBLIOGRAFÍA.....100**

# INTRODUCCIÓN

Las primeras losas de concreto postensado fueron construidas a mediados del siglo pasado. En ese momento se contaba con pocos conocimientos acerca del comportamiento de las losas postensadas, por lo que usualmente los criterios de diseño tendían a ser conservadores, posiblemente la razón más importante para el incremento en la construcción masiva de losas postensadas se debió al desarrollo y difusión de técnicas que simplifican en forma importante el diseño, análisis y ejecución del sistema, aunado a las menores dimensiones de los elementos que redundan en un ahorro económico, además de reducir el tiempo de construcción y tener la posibilidad de lograr claros importantes en la construcción con elementos no muy robustos que sería su equivalente en concreto reforzado, con lo que se logra el total o mayor aprovechamientos de espacios.

A continuación se enumeran algunos de los factores más significativos para la construcción de losas postensadas:

1. Los perfeccionamientos y simplificaciones en el equipo para el postensado y en los métodos de campo, han contribuido a la fabricación de losas postensadas de una manera tan sencilla para el contratista, como las comúnmente usadas en losas reforzadas.
2. La serie de pruebas que permitieron establecer el comportamiento de las estructuras postensadas.
3. La baja de costos en losas postensadas comparadas con el sistema tradicional de reforzado.

Aunque se use refuerzo convencional, ya sea como acero repartido para la disminución de grietas o por requisitos de resistencia, el uso combinado de refuerzo presforzado y no presforzado proporciona un trabajo excelente.

Los sistemas de piso mediante losas de concreto postensado se han convertido en uno de los elementos más importantes dentro de los sistemas de construcción de pisos para edificios comerciales y residenciales. Además ha resultado económico tanto en estacionamientos como en edificios industriales, de departamentos, de oficinas, de hospitales sean estos de pequeña o de gran altura.

Así que la elaboración de este trabajo está basado en la práctica generalmente aceptada en México, para poder establecer un contacto previo y sencillo para la instalación y tensado del sistema monotorón no adherido en sistemas de piso en edificios de concreto en ambientes no corrosivos, basado en las recomendaciones y limitaciones de las diferentes normas aplicables.

El procedimiento que se presenta ha sido considerado para reflejar seguridad durante la instalación del sistema de presfuerzo tipo postensado así como para la estructura, mediante una correcta ejecución de los trabajos.

Cabe mencionar que la estructura de este trabajo está delimitada de la siguiente manera: en el capítulo 1 se establecen las características de los diferentes materiales que intervienen en el concreto presforzado, así como una explicación en forma general de las condiciones sobre las cuales está basado su funcionamiento del concreto simple reforzado y presforzado. En el capítulo 2

se desarrollan las características generales del concreto postensado haciendo énfasis en los materiales que intervienen, planteando las condiciones generales de instalación del sistema de postensado en sistemas de piso en edificaciones de concreto. En el capítulo 3 se presenta el procedimiento para la instalación de cables de presfuerzo tipo monotorón, iniciando por la identificación en los planos de instalación de presfuerzo de las características de dirección y cantidad de cables por trazo o sección de losa, el habilitado de cable, acuñado de anclajes, instalación de cable, instalación de soportes, fijación de placas y supervisión del sistema instalado. En el capítulo 4 se desarrolla el procedimiento para el tensado de cables de presfuerzo tipo monotorón, este capítulo inicia con la descripción de la limpieza de anclajes activos, tensado de cables, manejo de resultados y medidas de seguridad para la inducción de la fuerza de tensado.



# CAPÍTULO 1. CONCRETO PRESFORZADO

## 1.1 EL CONCRETO

El concreto es una mezcla de cemento, agregados inertes (en general gravas y arenas) y agua, la cual endurece adquiriendo resistencia a la compresión principalmente, la cual depende de la proporción de cada uno de los materiales que la forman.

### 1.1.1 LA MEZCLA DE CONCRETO

Los elementos que componen al concreto se dividen en dos grupos activos e inertes. Son activos, el agua y el cemento a cuya cuenta corre la reacción química por medio de la cual esa mezcla, llamada "lechada", se endurece -fragua- hasta alcanzar un estado de gran solidez.

Los elementos inertes (agregados gruesos y finos) son la grava y arena, cuyo papel fundamental es formar el "esqueleto" del concreto, ocupando gran parte del volumen del producto final.

Las proporciones en que se mezclan los distintos componentes varían de acuerdo con la granulometría de los agregados y con la resistencia final deseada; sin embargo, los siguientes valores en por ciento de volumen dan una idea aproximada.

Agregados	75%
Cemento	10%
Agua	15%

El concreto se diseña en la práctica para que alcance su resistencia de trabajo o de diseño a los 28 días como máximo. El concreto trabaja o desarrolla la mejor capacidad mecánica trabajando a compresión, podemos decir que a tensión trabaja sólo a un 10% de los esfuerzos que soporta a compresión y a un 20% a cortante<sup>1</sup>, las unidades de medición de resistencia a compresión son unidades de presión:  $kg/cm^2$ , Psi, bares, etc.

### Los agregados

Los agregados son las partes del concreto que constituyen lo grueso del producto terminado. Abarcan alrededor del 75% del volumen del concreto y tienen que estar graduados de tal forma que la masa total del concreto actúe como una combinación relativamente sólida, homogénea y densa, con los tamaños más pequeños actuando como un relleno inerte de los vacíos que existen entre las partículas más grandes.

Existen dos tipos de agregados:

- Agregado grueso (grava, piedra triturada)
- Agregado fino (arena natural o fabricada)

<sup>1</sup> Información tomada de la bibliografía No. 7.

Los agregados empleados en la mezcla de concreto deben de estar sanos: no estar fracturados, no contener material que reaccione negativamente con el agua y el cemento además de que la forma del agregado debe ser controlada, para garantizar el mínimo de vacíos posible, para garantizar un concreto con la mejor calidad.

## **El agua**

El agua se requiere en la producción del concreto a fin de precipitar la reacción química con el cemento, para humedecer el agregado y lubricar la mezcla para una fácil manejabilidad. Puede utilizarse el agua para beber. El agua que tiene ingredientes nocivos, contaminación, sedimentos, aceites o químicas es dañina para la resistencia y fraguado del concreto y puede romper la afinidad entre el agregado y la pasta de cemento y puede afectar en forma adversa la manejabilidad de una mezcla.

Debido a que la calidad (resistencia y durabilidad) de la pasta de cemento en el concreto es el resultado de la reacción química entre el cemento y el agua, la proporción del agua con respecto del cemento es de particular importancia. El exceso de agua deja un esqueleto en forma de panal no uniforme en el producto terminado una vez que la hidratación ha terminado (el agua se ha evaporado), mientras que poca agua impide una reacción química en el cemento. El concreto en ambos casos, ya sea por exceso o por falta de agua con respecto a la cantidad de cemento es de mala calidad.

## **El cemento**

Se usa en general cemento tipo Pórtland al que se define como "el material que proviene de la pulverización del producto obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos que contengan óxidos de calcio, silicio aluminio y fierro en cantidades convenientemente calculadas, sólo con una adición posterior de yeso sin calcinar, para controlar el tiempo de fraguado"<sup>2</sup>.

La composición química del cemento es muy compleja, pero puede definirse esencialmente como un compuesto de cal, alúmina y sílice.

Podemos encontrar en México la producción de 5 clases de cementos Pórtland principalmente, los cuales son utilizados en la industria de la construcción:

**Tipo I:** Normal, destinado a usos generales: pavimentos, bloques, tubos, losas, banquetas, etc.

**Tipo II:** Modificado, adecuado en general para obras hidráulicas por su calor de hidratación moderado y su regular resistencia a los sulfatos.

**Tipo III:** Rápida resistencia alta, recomendable para sustituir al tipo I en obras de emergencia o cuando se desee retirar pronto la cimbra para usarlas un número mayor de veces; adquiere una determinada resistencia mayor en el mismo tiempo, en igualdad de condiciones. Sin embargo, la resistencia final es la misma a la correspondiente al cemento normal.

---

<sup>2</sup> Definición tomada de la bibliografía No. 9.

**Tipo IV:** De bajo calor de hidratación, adecuado para la construcción de grandes espesores en donde se cuelean metros de espesor o volúmenes de concreto importantes de concreto como presas, a tener que su resistencia se adquiere lentamente.

**Tipo V:** De alta resistencia a los sulfatos, recomendable en cimentaciones o superficies de concreto expuestas a la acción de aguas sulfatadas y agresivas.

En México se produce también el cemento Pórtland-blanco de características semejantes al tipo I usado en construcciones urbanas.

## 1.1.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO

De los materiales que intervienen en la mezcla de concreto podemos esperar cierto comportamiento inherente a las características particulares de cada uno de ellos, que se ve reflejado en conjunto. Los materiales que intervienen en la mezcla, interactúan de tal forma que determinan el comportamiento del concreto. Es importante notar que sus propiedades están basadas en el comportamiento en conjunto de los materiales que conforman la mezcla.

Hay que tener en cuenta todas las características del concreto, ya que de acuerdo a ellas podemos esperar cierto comportamiento, ya sea durante el proceso de mezclado, fraguado o de endurecimiento de la mezcla. El entendimiento claro del comportamiento del concreto es vital para obtener resultados favorables, de lo contrario es sencillo producir concretos de mala calidad, con características no deseadas según los fines para los que es producido.

Todo esto con la finalidad de obtener un concreto de buena calidad que tendrá las características de diseño esperadas, con lo que éste se comportará adecuadamente una vez que ha sido colocado en cualquier estructura.

Resultado de la combinación de los diversos materiales que integran la mezcla de concreto ya sea este ligero o ciclópeo éste adquiere un peso que varía entre los 1, 500 kg/cm<sup>2</sup> y 2, 500 kg/m<sup>3</sup> en estado fresco.

### **Fraguado del concreto**

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica (generación de calor de hidratación) que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla.

Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad haciendo que sea difícilmente manejable; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla.

El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento mencionados y el tiempo en que se alcanza este estado es de alrededor de 30 a 45 minutos. Al continuar el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable de solidez, este estado se denomina fraguado final. El tiempo de fraguado final es

de 10 a 12 hrs. Las consideraciones anteriores de fraguado son estimadas a una temperatura media de 20 grados centígrados<sup>3</sup>.

La determinación de estos dos estados, fraguado inicial y fraguado final, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla de concreto, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa.

En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso de tiempo necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido.

### **Curado del concreto**

El curado debe suministrar suficiente humedad para permitir la terminación de las reacciones químicas que producen un concreto resistente y durable; algunas de las reacciones se realizan en poco tiempo y otras requieren de un periodo más largo. El tiempo requerido depende en gran parte de la temperatura, teniendo en cuenta que a una temperatura de 25 grados centígrados se desarrollan de manera más rápida las reacciones y por consiguiente una pérdida de agua mayor que si las reacciones se realizan a 15 grados centígrados en cuyo caso las reacciones se llevan a cabo más lentamente.

El concreto terminará internamente sus reacciones una vez que se haya evaporado el agua en la superficie, por lo que se debe suministrar agua en la superficie para que se completen las reacciones y no permitir la salida demasiado pronto de agua del interior de la masa de concreto y completar en todos los puntos las reacciones.

La humedad puede conservarse mediante un compuesto sellador, una envoltura de polietileno o dentro de una cubierta de vapor.

Puede agregarse humedad rociando la superficie con agua o cubriéndola con arena y después saturándola con agua, este último procedimiento puede ser útil en climas demasiado calurosos.

Debe tenerse cuidado de curar adecuadamente los elementos de concreto ya que de esto depende en gran parte el que se adquiera la resistencia de diseño de la mezcla. Por un mal curado podemos provocar grietas debidas a la contracción (deseccación demasiado rápida) y además, podemos ver disminuido en forma importante el módulo de elasticidad, lo que resultará en una deformación mayor ante esfuerzos menores que los calculados.

### **Permeabilidad del concreto**

El concreto es un material permeable, debido a que los vacíos que dejan los agregados no son llenados totalmente por la mezcla de agua y cemento y además, el agua de mezclado, la cual se utiliza en gran parte para obtener una trabajabilidad del concreto, se evapora en los primeros meses de colado dejando huecos más o menos numerosos, lo que contribuye a que el agua pueda filtrarse por ellos en la masa de concreto.

---

<sup>3</sup> Información obtenida de la bibliografía No. 8.

Por consiguiente debido a estas características el concreto común es permeable (existen filtraciones de agua), se pueden tomar ciertas precauciones para disminuir su permeabilidad, pero no podemos disminuirlas en su totalidad, a menos que se empleen materiales adicionales como puede ser una película de polipropileno para evitar filtraciones.

Algunos de los cuidados para mejorar la impermeabilidad del concreto son:

1. Emplear mezclas secas, de baja relación agua cemento, ya que con esto hay menos porosidad y una mayor resistencia y durabilidad. Los concretos más resistentes son los menos permeables.
2. Lograr una granulometría con el mínimo de vacíos posible.
3. Colocar el concreto con el uso de vibradores que compacten la mezcla y ayuden a la expulsión de burbujas de aire.

### **Módulo de elasticidad del concreto**

**Módulo de elasticidad:** Denotado por la letra "Ec". Se define como el rango en el que un material se comporta elásticamente, así que el comportamiento de la deformación unitaria es proporcional a la fuerza unitaria suministrada.

Entre más alto sea el valor del módulo de elasticidad, menor es la deformación elástica, lo que quiere decir que el material es más rígido.

El concreto no es un material elástico, es decir:

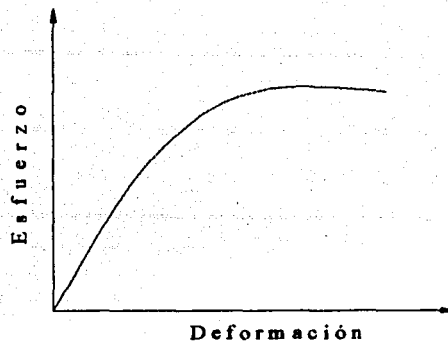
1. Las deformaciones unitarias no son proporcionales a los esfuerzos que soporta el material y
2. Para una carga fija determinada se presenta una variación continua de la deformación unitaria; dicha variación aumenta con el valor del esfuerzo y disminuye con el transcurso del tiempo.

Por las razones anteriores no se puede establecer un módulo constante de elasticidad del concreto. Sin embargo si eliminamos las deformaciones plásticas y sólo tomamos las deformaciones elásticas al inicio de la curva esfuerzo-deformación podemos obtener un valor del módulo de elasticidad para el concreto.

En la figura 1.1.2.1 se muestra el diagrama de esfuerzo-deformación, debido a que ésta es curvilínea a una etapa muy temprana de su historia de carga, el módulo de elasticidad se aplica únicamente a la tangente de la curva de origen. La pendiente inicial de la tangente a la curva se define como el módulo de tangente inicial y es posible construir también un módulo tangente en cualquier punto de la curva. El módulo secante de elasticidad del concreto se define con la pendiente de la línea recta que une al origen con un esfuerzo dado (alrededor de  $0.4f_c$ ), este valor, llamado en el cálculo del diseño estructural, módulo de elasticidad, satisface la suposición práctica de que las deformaciones que ocurren durante el inicio de la curva pueden considerarse básicamente elásticas<sup>4</sup> (completamente recuperables en la descarga y que cualquier deformación posterior debida a la carga se considera como flujo plástico).

---

<sup>4</sup> Información tomada de la referencia bibliografía No. 9.



*Figura 1.1.2.1 Diagrama de esfuerzo-deformación en el concreto.*

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto en el Distrito Federal especifican la ecuación 1.A (obtenida mediante el modulo secante) para el cálculo del módulo de elasticidad del concreto tipo I con las siguiente características:

- Con un peso en estado fresco igual o mayor a  $2200 \text{ kg/m}^3$
- Resistencia  $f_c$ , igual o mayor a  $250 \text{ kg/cm}^2$

$$E_c = 14000 \times \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots 1.A$$

$E_c$  = Módulo de elasticidad, en  $\text{kg/cm}^2$

$f_c$  = Resistencia a la compresión a los 28 días, en  $\text{kg/cm}^2$

Debe señalarse que estas expresiones son válidas únicamente en términos generales, debido a que el valor del módulo de elasticidad es afectado por factores diferentes a las cargas, tales como la humedad, la relación agua cemento, edad del concreto y temperatura, por lo que deberá de consultarse localmente los reglamentos y recomendaciones aplicables para cada zona.

**Deformación en el concreto**

En el concreto que es empleado, es importante conocer las deformaciones como los esfuerzos. Esto es necesario para estimar la pérdida del presfuerzo en el acero y para tenerlo en cuenta para otros efectos del acortamiento del concreto. Con objeto de tener en cuenta tales deformaciones las hemos clasificar en tres tipos principalmente:

- 1) Deformaciones elásticas
- 2) Deformaciones plásticas o por plasticidad
- 3) Deformaciones por contracción

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Deformaciones elásticas.** El término deformaciones elásticas es quizá un poco ambiguo, puesto que la curva de esfuerzo deformación para el concreto es raramente una línea recta aún a niveles normales de esfuerzo (ver figura 1.1.2.1) ya que no son enteramente recuperables las deformaciones. Pero, eliminando las deformaciones plásticas de esta consideración, la porción inferior de la curva esfuerzo-deformación instantánea, que es relativamente recta, puede llamarse convencionalmente elástica. Entonces es posible obtener valores para el módulo de elasticidad del concreto. El módulo varía con diversos factores, notablemente con la resistencia del concreto, la edad del mismo, las propiedades de los agregados y el cemento. Aún más el módulo puede variar con la velocidad de la aplicación de la carga y con el tipo de muestra o probeta, ya sea un cilindro o una viga. Por consiguiente, es casi imposible predecir con exactitud el valor del módulo para un concreto dado.

De las consideraciones del valor del módulo de elasticidad podemos establecer las deformaciones esperadas para ese concreto ya que dependiendo del módulo de elasticidad variará el valor de las deformaciones y por lo tanto su capacidad para soportar esfuerzos antes de deformarse y fallar.

**Deformaciones plásticas.** La plasticidad en el concreto es definida como deformación dependiente del tiempo que resulta de la presencia de un esfuerzo.

Así definimos al flujo plástico como la propiedad de muchos materiales mediante la cual ellos continúan deformándose a través de lapsos considerables de tiempo bajo un estado constante de esfuerzo o carga. La velocidad del incremento de la deformación es grande al principio, pero disminuye con el tiempo, hasta que después de muchos meses alcanza un valor constante asintóticamente<sup>5</sup>.

Se ha encontrado que la deformación por flujo plástico en el concreto depende no solamente del tiempo, sino que también depende de las proporciones de la mezcla, de la humedad, de las condiciones del curado, y de la edad del concreto a la cual comienza a ser cargado. La deformación por flujo plástico es casi directamente proporcional a la intensidad del esfuerzo.

**Deformaciones por contracción.** Cómo se distingue la plasticidad de la contracción?. La contracción en el concreto es debida al secado y a cambios químicos que dependen del tiempo y de las condiciones de humedad, pero no de los esfuerzos. Por lo menos, una porción de la contracción resultante por el secado del concreto es recuperable con la restauración del agua pérdida. La magnitud de la deformación por contracción también varía con diversos factores.

Por ejemplo, si en un extremo el concreto se encuentra sumergido en agua o bajo condiciones muy humedad la contracción puede ser nula. Aún también puede haber expansión para algunos tipos de agregados y cementos.

La contracción en el concreto es en cierto modo proporcional a la cantidad de agua empleada en la mezcla. Por consiguiente, si se desea una contracción mínima, la relación agua-cemento y la proporción de la pasta de cemento deberá conservarse al mínimo, así, los agregados de menor tamaño deberán estar bien graduados para obtener el mínimo de vacíos, lo que se reflejará en que se necesitará una cantidad menor de pasta de cemento, y la contracción será menor.

---

<sup>5</sup> Información tomada de la referencia bibliografía No.11.

### 1.1.3 ADITIVOS PARA CONCRETO

Los aditivos son materiales que se emplean en la mezcla de concreto, además del agua, agregados y cemento. Los aditivos se utilizan como ingredientes del concreto y se adicionan a la mezcla antes o durante el mezclado. La función de los aditivos es la de modificar las propiedades del concreto para hacerlo más apropiado para el trabajo, por su colocación y economía, en general su empleo es para mejorar sus características, dependiendo de las necesidades de la construcción.

Podemos resumir a los principales tipos de aditivos como sigue:

1. Aditivos acelerantes
2. Aditivos inclusores de aire
3. Aditivos reductores de agua y aditivos controladores de fraguado
4. Aditivos minerales finamente divididos
5. Aditivos para concreto sin revenimiento
6. Polímeros
7. Súper plasticidad

**Aditivos acelerantes.-** Estos aditivos se adicionan a la mezcla de concreto para reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de la resistencia a temprana edad.

**Aditivos inclusores de aire.-** Estos aditivos forman burbujas de 1 mm de diámetro o menores en el concreto o mortero durante el mezclado, se utilizan para incrementar la manejabilidad de la mezcla durante la colocación y mejorar la resistencia al congelamiento del producto terminado.

**Aditivos reductores de agua y controladores de fraguado.-** Estos aditivos incrementan la resistencia del concreto. Permiten también una reducción en el contenido de cemento en relación a la disminución en el contenido de agua. Además de no permitir un fraguado rápido debido al bajo contenido de agua de la mezcla.

**Aditivos finamente divididos.-** Son aditivos que se utilizan para complementar finos faltantes en la parte fina de la mezcla de concreto, estos aditivos mejoran ciertas características como la permeabilidad o expansión del concreto.

**Aditivos para concreto sin revenimiento.-** Se define como un concreto que presenta un revenimiento de 2.5 cm o menor inmediatamente después de mezclado.

**Polímeros.-** Son aditivos que permiten obtener concretos de alta resistencia a la compresión de 1000 kg/cm<sup>2</sup> o mayor.

**Súper plasticidad.-** Son aditivos que reducen el contenido de agua necesario en una mezcla además de elevar su revenimiento hasta alrededor de 20 cm.

## 1.2 EL ACERO

Es el acero uno de los materiales más versátiles que se conocen y se fabrica con una diversidad de características químicas y físicas y en una gran variedad de calidades.



**Acero.** Aleación de hierro que contiene entre un 0.04 y un 2.25% de carbono y a la que se añaden elementos como níquel, cromo, manganeso, silicio o vanadio, entre otros.

El acero desarrolla su mejor capacidad de trabajo a tensión, dentro de la masa de concreto es capaz de soportar los esfuerzos de tensión generados por diferentes tipos de carga. En estructuras de concreto reforzado el acero trabaja a la par con la masa de concreto, hay que mencionar que el acero también soporta esfuerzos de compresión por lo que es común encontrar estructuras construidas totalmente en acero. Pero en condiciones de trabajo básicamente de tensión.

### **1.2.1 CLASIFICACIÓN DEL ACERO**

Los aceros se clasifican en: aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidables, aceros de herramientas y aceros de baja aleación de alta resistencia. Los aceros al carbono contienen diferentes cantidades de carbono y menos del 1.65% de manganeso, 0.60% de silicio y 0.60% de cobre. Los aceros aleados poseen vanadio y molibdeno además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Los aceros inoxidables llevan cromo y níquel, entre otros elementos de aleación. Los aceros de herramienta contienen volframio, molibdeno y otros elementos de aleación que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad. Los aceros de baja aleación ultra resistentes tienen menos cantidad de elementos de aleación y deben su elevada resistencia al tratamiento especial que reciben y a una cantidad importante de carbono que los coloca en el grado de alta resistencia (acero de presfuerzo).

El acero se vende en una gran variedad de formas y tamaños, como varillas, tubos, rieles de ferrocarril perfiles en H, T, etc (acero estructural). Estas formas se obtienen en las instalaciones siderúrgicas laminando los lingotes calientes o moldeado por medio de rodillos en frío.

Las varillas empleadas comúnmente como acero de refuerzo en la construcción, en los últimos países por los rodillos se les da la forma de las corrugaciones transversales y de las costillas longitudinales que son características de la varilla corrugada para acero de refuerzo en el concreto.

Esta varilla en el último paso es colocada en una cama de enfriamiento en donde es cortada en tramos de 12 metros generalmente.

Finalmente la varilla es sometida a las inspecciones y pruebas que marcan las especificaciones tales como, el peso de la muestra por unidad de longitud, que la forma, dimensión y separación de las corrugaciones sean las correctas, y que el alargamiento, el límite de fluencia y la ductilidad sean las fijadas.

Las varillas que empleamos en el refuerzo se fabrican en dos tipos distintos; lisas y corrugadas, ambas en doce diámetros diferentes.

Las corrugaciones incrementan la adherencia entre el concreto y el acero, estas proyecciones llamadas corrugaciones se laminan en la superficie de la varilla, las cuales tienen una altura de entre el 4 y 5% del diámetro nominal de la propia barra. El alambre corrugado tiene indentaciones imprimidas en el alambre que hacen la función de corrugaciones.

En la tabla 1.2.2.1 se establecen las características físicas para las barras de refuerzo que se emplean en el armado de las estructuras de concreto reforzado. El diámetro especificado en las barras

corrugadas se denomina diámetro nominal y corresponde al diámetro de una barra lisa cuyo peso por unidad de longitud se igual al de la corrugada.

Varilla No.	Diámetro Nom. (cm)	Area Nom.0 (cm <sup>2</sup> )	Perímetro Nom. (cm)	Peso (kg/ml)
1	0.635	0.317	1.995	0.248
2	0.794	0.495	2.494	0.388
3	0.953	0.713	2.993	0.559
4	1.270	1.267	3.990	0.993
5	1.588	1.979	4.990	1.552
6	1.905	2.850	5.985	2.235
7	2.223	3.879	6.984	3.042
8	2.540	5.067	7.980	3.973
10	3.175	7.917	9.974	6.207
11	3.493	9.580	10.97	7.511
12	3.810	11.401	11.969	8.938

*Tabla 1.2.2.1 Características de las barras de acero de refuerzo<sup>6</sup>.*

Todas las barras se clasifican por su diámetro, del número 2 al 12, el número corresponde al número de octavos de pulgada contenidos en el diámetro nominal de la barra. Por ejemplo, la varilla del número 4, es de 4/8", lo que quiere significa que es de 1/2" de diámetro.

## 1.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO

El acero que se emplea en la industria de la construcción consiste de varillas, perfiles estructurales, vigas, alambres y mallas de alambres soldados. El acero propiamente tiene características específicas de las cuales podemos mencionar las siguientes.

- 1) Límite de proporcionalidad
- 2) Módulo de elasticidad,  $E_a$
- 3) Resistencia de fluencia,  $f_y$
- 4) Resistencia última,  $f_u$
- 5) Designación del grado de acero
- 6) Tamaño o diámetro de la varilla o alambre

**Límite de proporcionalidad:** Es el mayor esfuerzo que puede soportar un material sin apartarse de la proporcionalidad que existe en este material entre los esfuerzos y las deformaciones.

**Módulo de elasticidad ( $E_a$ ):** Se puede definir como el cociente entre el esfuerzo y la deformación unitaria correspondientes, dentro de los límites de proporcionalidad. Para el acero el módulo de elasticidad varía de 1, 900, 000 a 2, 100, 000 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. En el empleo del módulo

<sup>6</sup> Tabla obtenida de la bibliografía No. 9.

de elasticidad hay que seguir la normatividad y recomendaciones vigentes para la aplicación y cálculo de éste según el zona geográfica donde se diseñe y construya.

**Resistencia de fluencia ( $f_y$ ):** Es el mayor esfuerzo que puede soportar un material sin sufrir deformaciones permanentes una vez que se le ha liberado de las cargas. Este valor cambia dependiendo del grado de acero que se trate. Para aceros no presforzados se emplean generalmente valores de 2, 800  $\text{kg/cm}^2$ , 3, 500  $\text{kg/cm}^2$  y 4, 200  $\text{kg/cm}^2$ , en aceros de alta resistencia se emplean valores de 15, 100  $\text{kg/cm}^2$  y 16, 200  $\text{kg/cm}^2$  para los grados 250 y 270 K respectivamente.

**Resistencia última ( $f_u$ ):** Se refiere al último esfuerzo que soporta el acero antes de que se presente la falla o fractura del mismo

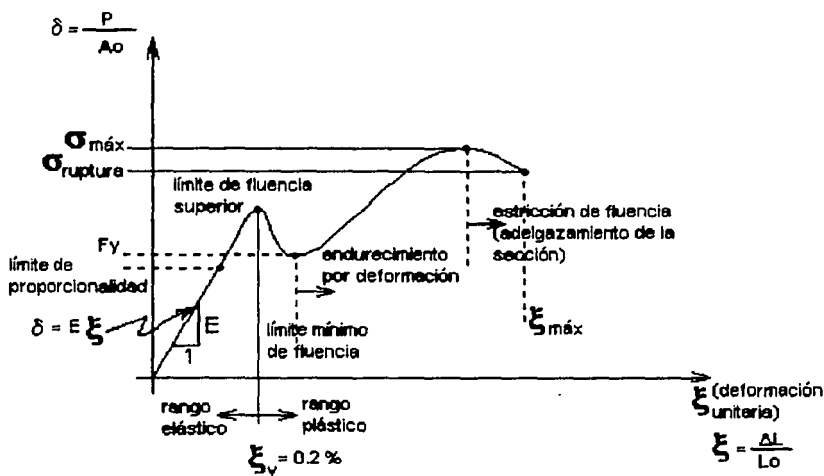


Figura 1.2.2.1 Curva esfuerzo deformación para un acero sujeta a tensión con sección circular

**Designación del grado de acero:** Existen diferentes grados de acero empleados en la industria de la construcción, por ejemplo, para acero no presforzado existe el grado 28, 35 y 42 por mencionar algunos. El grado 28 se refiere a un límite de fluencia de 2, 800  $\text{kg/cm}^2$ , para acero de alta resistencia se emplean generalmente los grados 250 K<sup>A</sup> y 270 K. Entre mayor sea el grado del acero, la estructura que se construya será más rígida. La designación del grado de acero dependerá de la ubicación y/o empleo del acero dentro de la estructura, por ejemplo el grado 28 es generalmente empleado en estribos de alambón y alambre recosido.

<sup>A</sup> La letra K se refiere a Kpsi.

**Tamaño, sección, espesor o diámetro de la varilla, perfil o alambre:** Es la dimensión y forma transversal de los diferentes grados de acero empleados en la construcción. Tales diámetros en el caso de las barrillas están referidos a un número de varilla que corresponde al número de octavos de pulgada de la sección transversal (diámetro) de la varilla.

### 1.3 CONCRETO REFORZADO

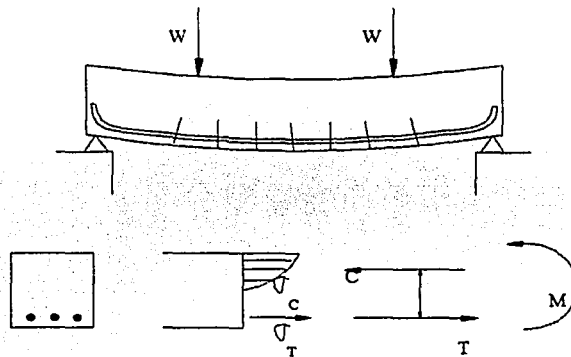
El concreto simple está formado por una mezcla de cemento, agua, agregado fino, agregado grueso, aire y con frecuencia aditivos. La mezcla plástica se coloca y se compacta en la cimbra, luego se cura para facilitar la reacción química de la hidratación de la mezcla agua-cemento. El producto terminado tiene una alta resistencia a la compresión y una baja resistencia a la tensión, de tal forma que su resistencia a la tensión es de aproximadamente un décimo de su resistencia a la compresión. Debido a esto se proporciona refuerzo de tensión y cortante en las regiones donde existen tensiones de las secciones para compensar la debilidad en estas zonas de los elementos de concreto reforzado.

El peso volumétrico del concreto reforzado varía de entre 2,300 y 2,400  $\text{kg}/\text{m}^3$  en estado fresco para un concreto de peso normal generalmente.

La mayoría de elementos estructurales de concreto como trabes, losas y columnas soportan esfuerzos de una magnitud importante impuestos por las cargas. El concreto soporta esfuerzos menores a la tensión, incluso se podría decir que no soporta esfuerzos a tensión, no así el acero, que es el estado de esfuerzos en que mejor trabaja.

Las barras de acero dentro del concreto son localizadas estratégicamente en una área dentro del concreto donde internamente se desarrollan esfuerzos de tensión y así poder armar un mecanismo que soporte los esfuerzos tanto de compresión (concreto) como de tensión (acero). Como resultando de ésta combinación tenemos un material que se conoce como concreto reforzado.

En la figura 1.3.1 consideramos una viga de concreto reforzado simplemente apoyada en la que las



*Figura 1.3.1 Viga reforzada.*

Donde

$W$  = Cargas externas

$C$  = Fuerza de compresión

$T$  = Fuerza de tensión

$\sigma_C$  = Esfuerzo de compresión

$\sigma_T$  = Esfuerzo de tensión

$Z$  = Distancia entre la aplicación de las fuerzas

cargas externas  $W$  causan tensión en las fibras inferiores ocasionando grietas en el concreto. Trabajando bajo cargas máximas, un concreto reforzado normalmente tiene un buen desempeño ante la aparición de grietas. En una sección, el momento aplicado  $M$  es soportado por compresión en el concreto sobre la línea donde aparecen las grietas, este esfuerzo es denominado por la letra  $C$ , y la tensión es soportada por el acero ubicado en el lecho inferior de la trabe y es denominado con la letra  $T$ , es necesario mencionar que existen otros esfuerzos que tienen que ser soportados por la estructura como la fuerza cortante  $V$  la cual se presenta en los extremos de una trabe, y dichos esfuerzos son soportados principalmente por los estribos. El cortante se presenta físicamente en la trabe por medio de grietas inclinadas en los extremos del elemento. Además el acero de refuerzo limita la aparición de grietas en la trabe que ocasiona el esfuerzo por flexión. El control de grietas está limitado por una mínima cantidad de acero que debe tener la sección en cuestión, tanto por esfuerzos como por temperatura.

La distribución del acero de refuerzo en una sección de concreto armado está basado en la distribución de los esfuerzos obtenido después de un análisis estructural del elemento. Así que el acero de refuerzo es útil principalmente para:

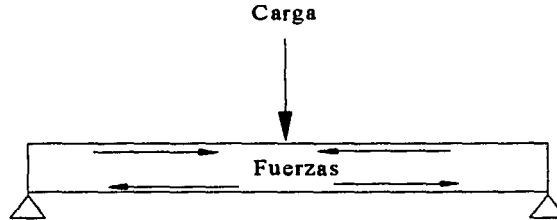
- Aumentar la ductilidad
- Aumentar la resistencia
- Resistir esfuerzos de tensión y compresión
- Resistir cortante
- Restringir agrietamiento
- Confinar el concreto

Los cálculos de la cantidad de acero de refuerzo son en base a un porcentaje del área de la sección en análisis, así la decisión del diámetro de la varilla para que cumpla tal requisito, será la que garantice un armado relativamente práctico y una colocación del concreto que no genere o tenga problemas para que el tamaño máximo del agregado del concreto pase por entre el armado, debiendo cumplir con la normatividad vigente en cada zona en cuanto a dicho tema se refiere. Estas consideraciones son establecidas para asegurar un mínimo de seguridad en cuanto a condiciones de carga y de servicio, las cuales están establecidas bajo normas.

## 1.4 CONCRETO PRESFORZADO

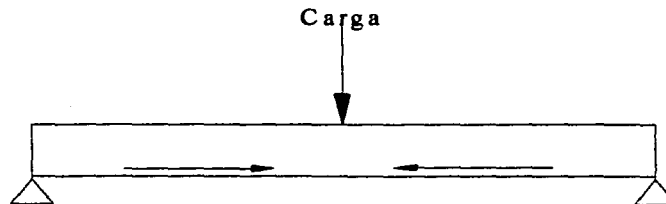
El concreto presforzado consiste en crear un estado de esfuerzos y deformaciones dentro de un material con el fin de mejorar su comportamiento para satisfacer la función a que está destinado.

El concreto presforzado también puede definirse como un concreto precomprimido; esto significa que en un miembro de concreto, antes de empezar su vida de trabajo, se le aplica un esfuerzo de compresión en aquellas zonas donde se desarrollaran esfuerzos de tensión bajo cargas de trabajo. Considere una viga de concreto simple soportando una carga como se muestra en la figura 1.4.1.



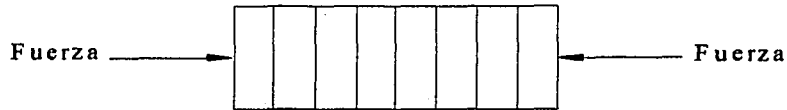
*Figura 1.4.1 Esquema de fuerzas internos en una viga bajo carga.*

Al incrementar la carga la viga se flexiona 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. Como ya vimos el acero de refuerzo puede soportar estas tensiones generadas en la viga una vez que se han presentado. En el concreto presforzado los esfuerzos de compresión introducidos en las zonas donde se desarrollan los esfuerzos de tensión bajo carga ( ver figura 1.4.2) resisten o anulan dichos esfuerzos tensión. En este caso, el concreto reacciona con una precompresión, es decir, fuerzas iniciales contrarias a las que estará sometido y en tanto que los esfuerzos de tensión no excedan a los esfuerzos de precompresión, no podrán presentarse agrietamientos.



*Figura 1.4.2 Esfuerzo de compresión en la viga por el presfuerzo.*

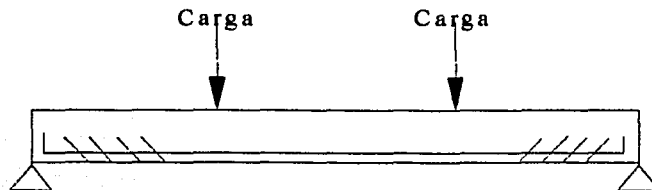
Un ejemplo cotidiano del principio fundamental del presfuerzo lo utiliza una persona que transporta varios ladrillos con el fin de acomodarlos verticalmente, uno encima de otro, los ladrillos pueden levantarse y moverse ejerciendo presión con una mano colocada en cada extremo (ver Fig. 1.4.3).



*Figura 1.4.3 Compresión ejercida en ladrillos colocados verticalmente.*

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

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 a la tensión se presentaran grietas en una viga de concreto reforzado, en donde los esfuerzos de tensión diagonal son altos (generalmente estos esfuerzos se soportan empleando estribos adicionales), lo que normalmente ocurre cerca de los apoyos (ver Fig. 1.4.4). En el concreto presfuerzo se pueden calcular los esfuerzos de precompresión, de tal manera que sobrepasen los de tensión diagonal.



*Figura 1.4.4 Grietas por tensión diagonal o cortante.*

En una viga presfuerzoada sujeta a carga, experimenta una flexión y la compresión interna debida al presfuerzo disminuye gradualmente. El retirar la carga, se restituye la compresión y la viga regresa a su condición original, demostrando la resistencia del concreto presfuerzoado. Actualmente las

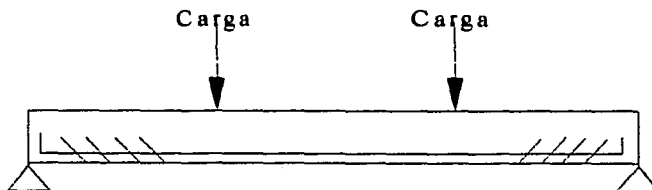
Un ejemplo cotidiano del principio fundamental del presfuerzo lo utiliza una persona que transporta varios ladrillos con el fin de acomodarlos verticalmente, uno encima de otro, los ladrillos pueden levantarse y moverse ejerciendo presión con una mano colocada en cada extremo (ver Fig. 1.4.3).



*Figura 1.4.3 Compresión ejercida en ladrillos colocados verticalmente.*

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

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 a la tensión se presentarían grietas en una viga de concreto reforzado, en donde los esfuerzos de tensión diagonal son altos (generalmente estos esfuerzos se soportan empleando estribos adicionales), lo que normalmente ocurre cerca de los apoyos (ver Fig. 1.4.4). En el concreto presfuerzoado se pueden calcular los esfuerzos de precompresión, de tal manera que sobrepasen los de tensión diagonal.



*Figura 1.4.4 Grietas por tensión diagonal o cortante.*

En una viga presfuerzoada sujeta a carga, experimenta una flexión y la compresión interna debida al presfuerzo disminuye gradualmente. El retirar la carga, se restituye la compresión y la viga regresa a su condición original, demostrando la resistencia del concreto presfuerzoado. Actualmente las



pruebas han demostrado que puede realizarse un número 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, la viga presforzada posee una gran resistencia a la fatiga.

Si para la carga de trabajo los esfuerzos de tensión ocasionados por la misma no exceden el presfuerzo, el concreto no se agrietara en la zona de tensión pero si sobrepasa la carga de trabajo y los esfuerzos de tensión resultan mayores que el presfuerzo, surgirán grietas. Sin embargo si se retira la carga, aún después de que la viga ha sido cargada en una parte muy alta de su capacidad última, se obtiene una clausura total de las grietas, las cuales no reaparecerán bajo carga de trabajo.

Es común emplear una combinación de acero de presfuerzo y acero de refuerzo en el concreto para aprovechar las características que nos provee cada uno de ellos y obtener la máxima capacidad de carga y soportar los esfuerzos debidos a las desviaciones no previstas en el presfuerzo. Gracias a esta combinación es posible producir en un elemento estructural esfuerzos y deformaciones que contrarresten total o parcialmente a los producidos por las cargas gravitacionales que actúan en el elemento, lográndose diseños eficientes.

#### **1.4.1 TIPOS DE PRESFUERZO**

El método más común de inducir un esfuerzo de compresión es por medio de tendones de acero de alta resistencia, los cuales se tensan (presfuerzan) y posteriormente se anclan en el concreto mismo mediante anclajes de características determinadas según la patente empleada.

Los tendones son elementos alargados o tensados que se utilizan para inducir la precompresión en el concreto. Los tendones pueden ser de alambre de acero de alta resistencia, de torones hechos de alambres de alta resistencia o de varilla de acero de alta resistencia. En las figuras 1.4.1.1 y 1.4.1.2 se muestra la colocación de los tendones según el tipo de presfuerzo empleado.

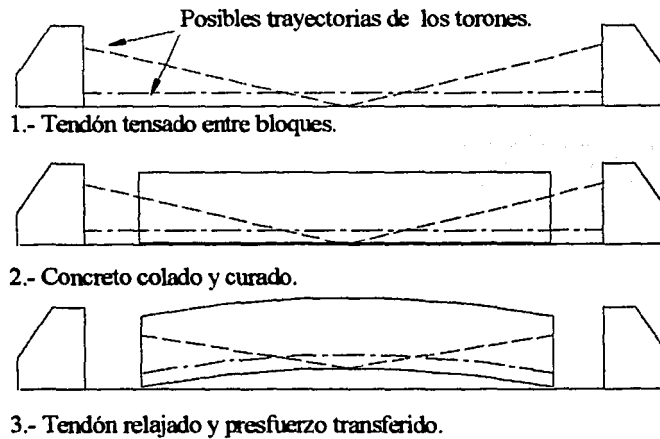
El concreto presforzado tiene dos principales tipos de aplicación, el concreto pretensado y el concreto postensado. Generalmente el concreto utilizado para presfuerzo tiene una resistencia de 250 a 500 kg/cm<sup>2</sup>.

##### **Pretensado**

El pretensado es la imposición de un presfuerzo, el cual se efectúa antes de vaciar el concreto en el elemento, estos tendones son desnudos o extruidos, es decir el acero del tendón está en contacto directo con la mezcla de concreto.

En casi todos los casos los torones de alta resistencia se extienden entre dos apoyos y se estiran por medio de gatos, entonces el concreto se vacía en la cimbra que se encuentra alrededor de los tendones, el curado se acelera por medio de vapor a baja presión y una vez obtenida la resistencia de presfuerzo en el concreto se sueltan los tendones, de manera que el esfuerzo se transmite por adherencia al concreto, los tendones alargados se acortan ligeramente, precomprimiendo y acortando la longitud del concreto.

Los elementos pretensados más comunes son viguetas, traveses, losas y gradas, y se aplican a edificios, naves, puentes, gimnasios y estadios. En la figura 1.4.1.1 se muestra el proceso de pretensado en una viga.



*Figura 1.4.1.1 Método de pretensado.*

Con frecuencia se flexiona el acero en un punto a fin de mejorar su excentricidad, la cual se encuentra cerca del centro del claro, y así mantener niveles de esfuerzo aceptables en los extremos de la viga.

### **Postensado**

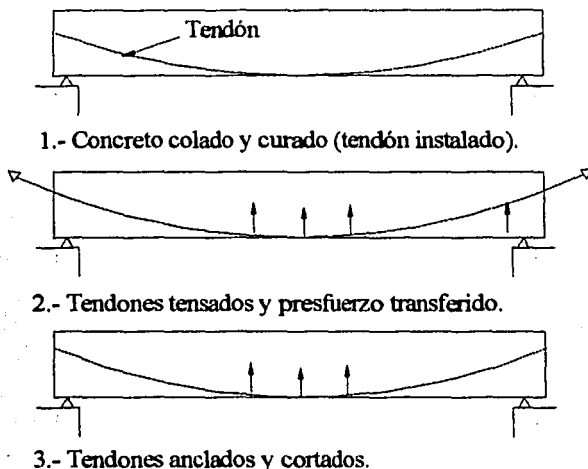
Es la imposición de un estado de compresión al concreto por medio de tendones, una vez que el concreto ha fraguado y obtenido una resistencia mínima para soportar el presfuerzo a que estará sometido.

El procedimiento de postensado se describe en forma general como sigue:

- a) El acero de presfuerzo se coloca en un ducto con o sin grasa en su interior y se tensa una vez que el concreto ha fraguado y ha alcanzado un porcentaje de mínimo de la resistencia de diseño.
- b) Las unidades se pueden construir como prefabricadas, ya sea en un patio de colado o bien pueden ser colados en la obra.
- c) El acero se ancla en un extremo y se tensa por medio de un gato en el otro extremo una vez obtenida la resistencia de diseño para aplicar el presfuerzo.

- d) Inicialmente el acero no está adherido pero se puede inyectar una lechada después de tensado al ducto donde se aloja el tendón, esto en ductos donde se aloja más de un tendón, cuando se disponen tendones independientes son colocados dentro de una manguera de plástico rellena de grasa.

En la figura 1.4.1.2 se muestra el procedimiento para postensar una viga.



*Figura 1.4.1.2 Método de postensado.*

## 1.4.2 PÉRDIDAS DE PRESFUERZO

Existen pérdidas de presfuerzo en el concreto presforzado debido a la interacción y las características propias de los diferentes materiales dentro del sistema, así que en el diseño de estructuras con presfuerzo se tienen en cuenta pérdidas por instalación debido a los diferentes materiales que intervienen, dichas pérdidas pueden ser estimadas de acuerdo con diferentes lineamientos recomendados por la normatividad aplicable vigente según la región en que se diseñe o construya.

El acero de alta resistencia y el concreto de alta resistencia son esenciales para obtener un comportamiento satisfactorio del presfuerzo, aunque con lo anterior no se garantiza una inducción y permanencia del presfuerzo, por lo que en el diseño del presfuerzo se consideran pérdidas debidas al comportamiento en conjunto de los materiales que integran el sistema.

A continuación se establecen las principales pérdidas de presfuerzo:

- Contracción del concreto
- Deformación elástica del concreto

- c) Deformación plástica
- d) Relajamiento del acero
- e) Durante el anclaje
- f) Fricción en el gato y en el anclaje
- g) Fricción en el conducto

No es posible proporcionar un valor preciso de la magnitud de la pérdida de presfuerzo total tanto en el pretensado como en el postensado. Normalmente se fija un porcentaje sobre la base de la fuerza en los tendones inmediatamente después de la transferencia y es del orden del 20-30%<sup>7</sup>. Las pérdidas que tienen lugar antes y durante la transferencia son del orden del 5% para postensado y del 10% para pretensado.

Existen procedimientos de análisis para la evaluación de pérdidas de presfuerzo basado en formulas, coeficientes de fricción y de curvatura, que este trabajo no estudiará, sin embargo para mayor conocimiento de los factores análisis que intervienen para el cálculo de pérdidas de presfuerzo, se puede consultar la bibliografía No. 1, 2, 8, 10 y 11. .

---

<sup>7</sup> De acuerdo a reporte de campo tomado después de efectuar procedimientos de tensado en diversas obras.

## **CAPÍTULO 2. CONCRETO POSTENSADO**

En éste y en los subsiguientes capítulos, al hacer referencia a la palabra “presforzado” y “presfuerzo” nos estaremos refiriendo específicamente al sistema de presfuerzo tipo monotorón no adherido en losas y trabes de concreto.

### **2.1 EL CONCRETO POSTENSADO**

Las primeras losas postensadas fueron construidas a mediados del siglo pasado. En ese momento se contaba con pocos conocimientos acerca del comportamiento de las losas postensadas, por lo que usualmente los criterios de diseño tendían a ser conservadores y las técnicas eran laboriosas y prolongadas. Ya en los años 60 se introdujo una cubierta de plástico al cable de presfuerzo que sería complementada en los años 70 con la introducción de grasa que cubría el cable dentro del ducto de plástico.

Una de las razones más importantes para el incremento de la construcción de losas postensadas se debió al desarrollo y difusión de las técnicas que simplifican en forma importante su análisis y diseño, y esto aunado a la disminución en dimensión de los elementos que redundaba en un ahorro económico, con lo que se reduce el tiempo de construcción y se tiene la posibilidad de lograr claros importantes en la construcción por medio de elementos no muy robustos que sería el equivalente en concreto reforzado, con lo que se logra el total o mayor aprovechamiento de los espacios.

A continuación se enumeran algunos de los factores más significativos para la construcción de losas postensadas<sup>1</sup>:

- Los perfeccionamientos y simplificaciones en el equipo para postensar y los métodos de campo, han contribuido a la fabricación de losas postensadas de una manera sencilla para el contratista como las comúnmente usadas en losas reforzadas.
- La serie de pruebas que permitieron establecer el comportamiento de las estructuras postensadas.
- La notoria baja de costos en losas postensadas comparadas con el sistema tradicional de reforzado.

El concreto postensado en general tiene las siguientes ventajas<sup>2</sup>:

- Se mejora el comportamiento bajo cargas de servicio por el control de agrietamiento y a la flexión.
- Se logran elementos más esbeltos y eficientes, comparado con su equivalente en el concreto reforzado.

---

<sup>1</sup> Información tomada de la bibliografía No. 6.

<sup>2</sup> Información obtenida de la bibliografía No. 6.

- Se logran claros de aproximadamente 20 metros, que con el empleo de concreto reforzado únicamente no serían posibles, con lo que se tiene el mayor aprovechamiento del espacio.
- El presfuerzo reduce la aparición de grietas por cortante. Algunas veces el presfuerzo puede ser usado para eliminar los problemas de cortante y torsión
- Resistencia a la fatiga.
- Rapidez en los tiempos constructivos.

### 2.1.1 PRINCIPIO DEL CONCRETO POSTENSADO

En la actualidad, el criterio de diseño para losas postensadas ha evolucionado y es completamente contrario al usado en los inicios del presforzado, en lugar de que el equilibrio de cargas sea la norma principal para determinar la fuerza de postensado con una comprobación posterior del esfuerzo, ahora la fuerza de postensado se determina a través de los valores permisibles de flexión en el concreto.

Con esto se establece que la configuración de los tendones deberá ser consistente con la distribución de los momentos obtenida por el método de análisis elegido, es decir, en aquellos puntos donde ocurre el momento ( $M$ ) de flexión máximo se requiere la máxima fuerza efectiva del presfuerzo, mientras que en los puntos, donde el momento es menor, la fuerza de presfuerzo es la mínima. Ello puede lograrse para una fuerza constante de presfuerzo variando la excentricidad de la fuerza, de tal manera que, en una sección cualquiera a lo largo de la viga, el efecto de presfuerzo neutralizara el efecto de la carga.

En la figura 2.1.1.1 se muestra una viga donde se establece la distribución de momentos para ésta de tal forma que se presenta una sección tentativa del cable de acuerdo con la distribución de momentos en la viga.

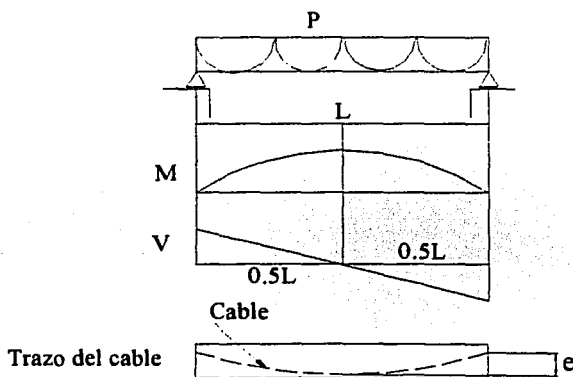


Figura 2.1.1.1 Trazo o sección del cable de presfuerzo según elementos mecánicos.

Donde

P = Carga

M = Momento flexionante

V = Fuerza de cortante

e = La excentricidad del cable

La excentricidad "e" se incrementa en el diseño con la carga que deberá soportar el elemento, está excentricidad depende de la distribución de momentos que generan las deformaciones en el elemento debido a las cargas, en este caso es en el centro de la trabe en cuestión. Esta excentricidad al incrementarse indica que la fuerza de presfuerzo es mayor, y por lo tanto el elemento estará sometido a cargas más grandes. Comparado con elementos que tengan menor excentricidad.

### 2.1.2 SISTEMAS PARA POSTENSAR

El sistema de postensado empleado actualmente, es un sistema de presfuerzo llevado a cabo por medio de tendones o torones tensados una vez que el concreto ha sido colocado y que ha adquirido una sustancial porción de su resistencia de diseño. Las resistencias a la compresión generalmente empleadas para el diseño van de 250 a 500 kg/cm<sup>2</sup>.

Los tendones son insertados típicamente en el elemento de concreto, en ductos que pueden ser colocados previamente. Los tendones son tensados por medio de gatos hidráulicos y anclados en el concreto. Si el ducto que es empleado para la colocación del cable, es un ducto sin grasa, debe inyectarse cemento, grout o algún otro material diseñado para prevenir la corrosión de los tendones.

Los anclajes de los tendones pueden ser pasivos y activos, pasivos si el anclaje es fijo al cable y es ahogado en el concreto, y activo si el anclaje es ahogado parcialmente y es utilizado para tensar el tendón. El anclaje está compuesto de una placa de un acero dúctil, por dispositivos que sujetan el tendón y transmiten la tensión a la placa de acero, y por acero de confinamiento en la zona adyacente a la placa.

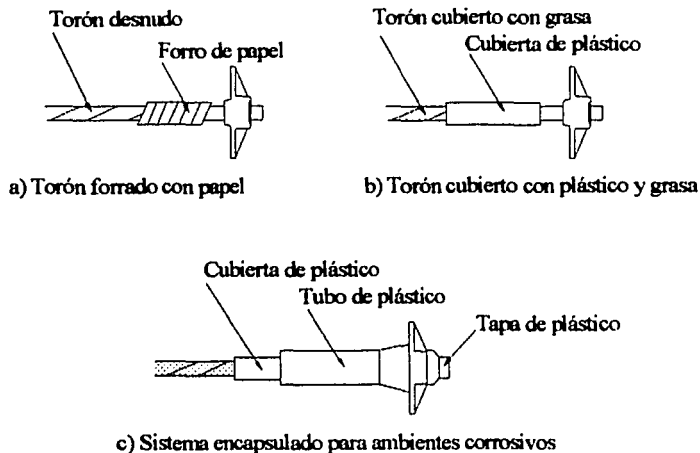
Otra forma de colocar los tendones es por medio de un cable forrado de manguera de hule, cuyo interior se encuentra lleno de grasa, en este caso no se tendrá que inyectar ningún tipo de material para evitar la corrosión ya que la grasa hará de anticorrosivo.

Generalmente el empleo de ductos donde es necesario inyectar algún anticorrosivo para los tendones, son ductos donde se alojan unidades de más de un cable o torón. En el empleo de unidades aisladas de torones se emplea el torón aislado mediante un forro de grasa y hule.

De lo anterior, los sistemas de postensado comúnmente usados en la construcción de edificios y puentes están agrupados en dos principales categorías, monotorón (no adherido) y multitorón (adherido).

**Sistema monotorón (no adherido):** Las características que distinguen al sistema monotorón es como sigue, los tendones son hechos generalmente de un alambre de acero de alta resistencia, cubierto con grasa como inhibidor de corrosión, los tendones son cubiertos mediante un forro externo de plástico, como se presenta en la figura 2.1.2.1. La fuerza en el tendón de presforzado es transmitida al concreto primariamente a través de los anclajes colocados en cada extremo del cable.

Variaciones de fuerza a lo largo del tendón es debido a la fricción generada entre el tendón y el ducto que lo contiene debido a los cambios de dirección en la colocación del mismo dentro del concreto, así que la vida del anclaje en el tendón es crucial para la vida del sistema.



*Figura 2.1.2.1 Evolución del sistema monotorón. En el inciso a) se muestra el inicio del sistema, el inciso b) muestra el sistema actual para ambientes no corrosivos, el inciso c) muestra la sistema actual para ambientes corrosivos.*

La función de la cubierta externa de plástico es:

1. Impide que penetren químicos u otros agentes que pudiesen dañar al torón
2. Le proporciona cierta manejabilidad para su colocación

La cubierta a la que se refiere comúnmente como grasa es para:

1. Para reducir la fricción ente el torón y la cubierta de plástico externa (manguera)
2. Provee de adicional protección contra la corrosión
3. Permitir el acomodo del torón ante situaciones de carga

En el sistema monotorón cada cable tiene establecido un anclaje en cada uno de sus extremos, así que cada cable es tensado individualmente.

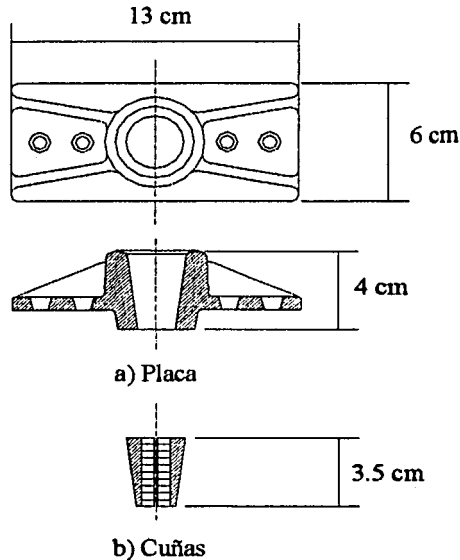
En la figura 2.1.2.2 se muestra una descripción general del anclaje genérico empleado para proporcionar la fijación del cable en el concreto, este anclaje es fijado al cable por medio de cuñas que son introducidas a presión.

El anclaje genérico es el que comúnmente es empleado en los cables de presfuerzo tipo monotorón no adherido como anclaje pasivo y activo, y en el multitorón (sistema de postensado adherido) este anclaje es empleado generalmente para proporcionar el anclaje pasivo en la instalación de unidades



de 2 y 4 cables. En ambos casos ya sea monotorón no adherido y multitorón, éste tipo de anclaje es para ser instalado en losas y trabes de concreto en edificaciones en ambientes no corrosivos.

La única variante significativa que tendría un anclaje para ambientes corrosivos sería la esturión de una boquilla en la parte frontal y posterior de la placa que sirve para la colocación de un tapón en la parte frontal y de una funda en la parte posterior que aísla el acero de presfuerzo.



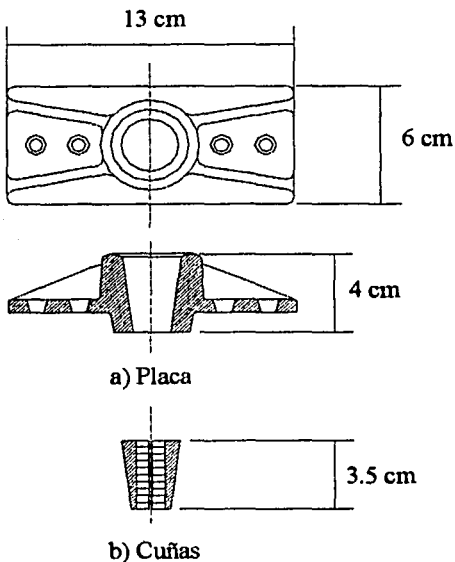
*Figura 2.1.2.2 Anclaje genérico para sistema monotorón.*

**Sistema multitorón (adherido):** Las características de un sistema multitorón son como siguen, en el sistema multitorón son empleados varios torones extruidos (sin ningún tipo de recubrimiento) dentro de un mismo ducto, estos torones no cuentan con ningún tipo de cubierta por lo que nos referiremos a estos como cable o torones extruidos (desnudos). Una vez que han sido tensados estos torones se inyecta en el ducto por medio de presión, una matriz de cemento o grout, que garantice propiedades similares a las del concreto instalado. La matriz actúa para cubrir y completar el espacio en el ducto y de esta manera completar la sección de concreto en el miembro, además de proporcionarle al cable protección anticorrosiva.

Cuando el grout o cemento en el ducto a endurecido los movimientos del ducto y los cables cubiertos se restringen. Por lo tanto la fuerza en el multitorón está en función de la deformación del concreto que se encuentra alrededor. En la figura 2.1.2.3 se presentan dos formas de las muchas variaciones de capacidad de ductos para sistemas de multitorón. El ducto plano para los tendones, es usado generalmente en sistemas de losas y trabes de edificios, casas entre otros, en los que se colocan desde 2 a 4 cables dentro de un mismo ducto. Estos cables presentan un anclaje común para todos, pero son tensados individualmente. Los ductos son típicamente corrugados, el material de estos ductos generalmente es de plástico aunque también existe el empleo de ductos de metal. Los

de 2 y 4 cables. En ambos casos ya sea monotorón no adherido y multitorón, éste tipo de anclaje es para ser instalado en losas y trabes de concreto en edificaciones en ambientes no corrosivos.

La única variante significativa que tendría un anclaje para ambientes corrosivos sería la esturión de una boquilla en la parte frontal y posterior de la placa que sirve para la colocación de un tapón en la parte frontal y de una funda en la parte posterior que aísla el acero de presfuerzo.

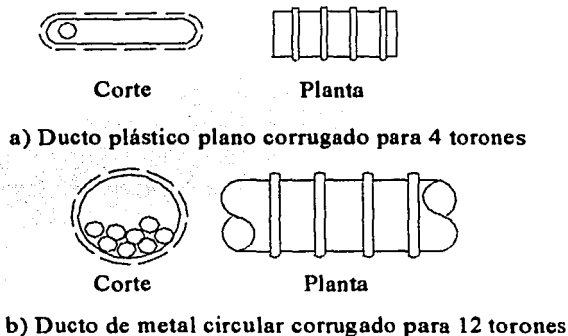


*Figura 2.1.2.2 Anclaje genérico para sistema monotorón.*

**Sistema multitorón (adherido):** Las características de un sistema multitorón son como siguen, en el sistema multitorón son empleados varios torones extruidos (sin ningún tipo de recubrimiento) dentro de un mismo ducto, estos torones no cuentan con ningún tipo de cubierta por lo que nos referiremos a estos como cable o torones extruidos (desnudos). Una vez que han sido tensados estos torones se inyecta en el ducto por medio de presión, una matriz de cemento o grout, que garantice propiedades similares a las del concreto instalado. La matriz actúa para cubrir y completar el espacio en el ducto y de esta manera completar la sección de concreto en el miembro, además de proporcionarles al cable protección anticorrosiva.

Cuando el grout o cemento en el ducto a endurecido los movimientos del ducto y los cables cubiertos se restringen. Por lo tanto la fuerza en el multitorón está en función de la deformación del concreto que se encuentra alrededor. En la figura 2.1.2.3 se presentan dos formas de las muchas variaciones de capacidad de ductos para sistemas de multitorón. El ducto plano para los tendones, es usado generalmente en sistemas de losas y trabes de edificios, casas entre otros, en los que se colocan desde 2 a 4 cables dentro de un mismo ducto. Estos cables presentan un anclaje común para todos, pero son tensados individualmente. Los ductos son típicamente corrugados, el material de estos ductos generalmente es de plástico aunque también existe el empleo de ductos de metal. Los

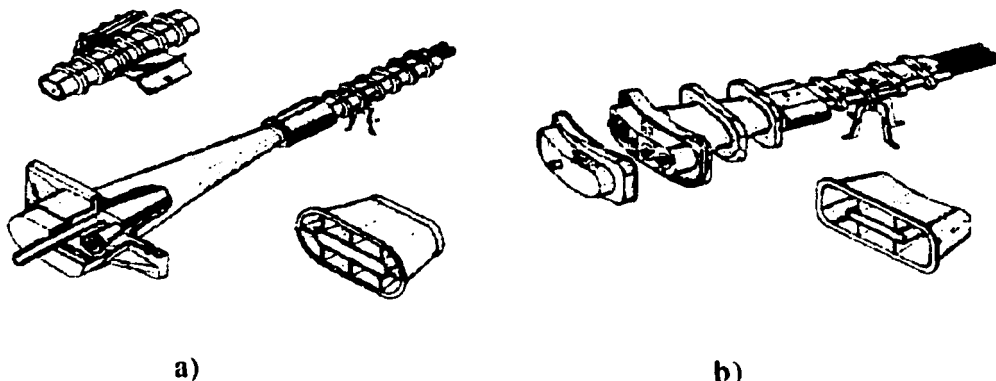
ductos circulares grandes son para aplicaciones en miembros como traveses. En los ductos en los que se alojan más de 4 torones, deben ser tensados y fijados simultáneamente usando un gato para tensar éste tipo de anclaje, especialmente diseñado para someter a estos cables presfuerzo simultáneamente. En la figura 2.1.2.4 se muestran dos tipos de cabezas de anclajes activos con protección anticorrosiva, en donde se muestra un anclaje para dos y cuatro cables respectivamente.



*Figura 2.1.2.3 Secciones de ductos en corte de sistemas multitorón.*

En el sistema multitorón la función del grout es:

1. Establecer continuidad entre el torón y el ducto
2. Incrementar la protección contra la corrosión y
3. Agentes a que pudiese estar expuesto el elemento



*Figura 2.1.2.4 Ejemplos de sistemas multitorón con protección anticorrosiva. En el inciso a) se muestra un sistema típico para anclaje de dos torones. En el inciso b) se presenta un sistema típico para anclaje de cuatro torones.*

La función del ducto es:

1. Mantener la posición de los cables durante la construcción
2. Actuar como adicional protección contra la penetración de elementos químicos que pudiesen dañar el acero de presfuerzo y
3. Proveer una cubierta donde se pueda inyectar el grout alrededor de los torones

Tradicionalmente la principal aplicación del el empleo de un sistema que requiera de un gato especial para el presforzado simultaneo de hasta 50 cables o más, el cual se emplea comúnmente en la construcción de puentes.

### **2.1.3 PÉRDIDAS DE PRESFUERZO EN EL CONCRETO POSTENSADO<sup>3</sup>**

Es difícil generalizar la magnitud de las pérdidas de presfuerzo, porque depende de muchos factores: las propiedades del concreto y del acero, las condiciones del curado y humedad, magnitud y tiempo de aplicación del presfuerzo. Para las propiedades promedio del acero y del concreto, curados bajo condiciones normales de aire y temperatura, tenemos las siguientes pérdidas.

#### **Pérdida por acortamiento elástico del concreto**

La pérdida de presfuerzo por acortamiento elástico sucede de la siguiente manera: si tenemos solamente un tendón simple en un miembro postensado, el concreto se acorta mientras se aplica el gato al tendón contra el mismo. Generalmente esta pérdida no es representativa.

#### **Pérdida por flujo plástico en el concreto**

El flujo plástico es la propiedad de muchos materiales mediante la cual ellos continúan deformándose a través de lapsos considerables bajo un estado constante de esfuerzo o carga. La velocidad del incremento de la deformación es grande al principio, pero disminuye con el tiempo, hasta que después de muchos meses alcanza asintóticamente un valor constante.

En los miembros de concreto presforzado, el esfuerzo de compresión al nivel del acero es sostenido, y el flujo plástico resultante en el concreto es una fuente importante de pérdida de fuerza de tensión. En los miembros presforzados, la fuerza de compresión que produce el flujo plástico del concreto no es constante, sino que disminuye con el paso del tiempo, debido al relajamiento del acero y a la contracción del concreto, así como a los cambios en longitud del concreto, asociados con el flujo plástico en si mismo.

Así la deformación resultante está en función de la magnitud de la carga aplicada, su duración, las propiedades del concreto incluyendo el proporcionamiento de la mezcla, las condiciones de curado, la edad a la que el elemento es cargado por primera vez y las condiciones del medio ambiente.

---

<sup>3</sup> Información tomada de la bibliografía No. 11.

### **Pérdida por contracción en el concreto**

La pérdida debida a la deformación por contracción del concreto depende de la cantidad de agua pérdida por la masa del concreto durante el desarrollo de su resistencia. La mayor parte de esta pérdida por deformación sucede en los primeros meses de instalado el concreto, aunque éste sigue sufriendo cambios volumétricos por contracción durante muchos años. La pérdida por contracción no depende de la aplicación de ninguna carga. La pérdida debida a la contracción se encuentra alrededor del 6% del presfuerzo inicial.

### **Pérdida por relajamiento del esfuerzo en el acero de presfuerzo**

El relajamiento del esfuerzo en el acero, denominado también deformación plástica, es la pérdida de sus esfuerzos cuando es presforzado y mantenido en una deformación constante en un periodo de tiempo. La pérdida promedio por esta situación es aproximadamente del 3% del presfuerzo inicial.

### **Pérdida por anclaje**

La pérdida por anclaje sucede en el momento en que el gato se cierra, cuando se ha sometido el tendón a la fuerza de tensión de diseño, lo que sucede es que el equipo de tensado para poder introducir las cuñas en el anclaje y fijar el tendón, tiene que regresar aproximadamente entre 1 y 2 cm, esta longitud de cable se regresa, así que el porcentaje de pérdida debido al anclaje del tendón en el extremo activo dependerá de la longitud total del cable tensado.

### **Pérdida debida a la absorción del anclaje**

Para la mayoría de los sistemas de postensado, cuando un tendón se tensa a su presfuerzo de diseño, se retira el gato y el presfuerzo se transfiere al anclaje. Los accesorios de anclaje que están sujetos a esfuerzos en esa transferencia tenderán a deformarse, permitiendo así, que el tendón se afloje ligeramente. Las cuñas de fricción empleadas para sostener los alambres se deslizaran una distancia pequeña antes de que los alambres sean amordazados firmemente, la magnitud de este deslizamiento depende del tipo de cuña y del esfuerzo en los alambres, siendo un valor promedio de 2 mm. Para los anclajes de apoyo directo, las cabezas y las tuercas están sujetas a una pequeña deformación al retirar el gato. Un valor promedio para tales deformaciones puede ser de solamente 0.7 mm. El porcentaje de pérdida debido a esta situación varía dependiendo de la longitud del cable.

### **Pérdida por fricción**

Ante todo, se sabe que hay fricción en el sistema de gatos y el anclaje, así que el esfuerzo existente en tendón es menor que el indicado en el manómetro. Esto es especialmente cierto para cables que cambian de dirección en el anclaje.

Entonces se presenta una pérdida importante por fricción entre el tendón y el material circundante a él, ya sea concreto o recubrimiento, y esté lubricado o no lo esté. La pérdida de presfuerzo debida al efecto de curvatura resulta del cambio de dirección en los tendones, además de la curvatura no prevista del ducto. El porcentaje de pérdida debido a la fricción con respecto al presfuerzo inicial es en promedio del 15 %.

Cuando existen numerosos cables dispuestos en un mismo ducto hay otra fuente de fricción en las curvas. Si los cables del ducto se tensan en sucesión, los que sean tensados posteriormente pueden estar sujetos a una fricción excesiva por los cables que fueron tensados inicialmente.

### **Magnitud total de las pérdidas**

El *presfuerzo inicial* en el acero menos las pérdidas se conoce como *presfuerzo efectivo* o de diseño. La magnitud total de las pérdidas que se supondrá en el diseño, dependerá de la base en la cual se va a medir el presfuerzo inicial.

Comúnmente el esfuerzo inicial se considera de la siguiente manera, existe el esfuerzo máximo temporal de los gatos, al cual es sujeto un tendón cuando se presfuerza. Tan pronto como se transfiere el presfuerzo al concreto, tomara lugar la pérdida por anclaje. El esfuerzo de los gatos menos la pérdida por anclaje, será el esfuerzo en el anclaje después del alivio de presión en el gato, y se llama frecuentemente *presfuerzo inicial*.

## **2.2 MATERIALES EN EL CONCRETO POSTENSADO**

### **2.2.1 EL CONCRETO**

Las características de los materiales que se emplean para la realización de la mezcla de concreto deberán de garantizar que ésta será capaz de desarrollar las resistencia y durabilidad requeridas por el diseño de la estructura.

La calidad de los materiales empleados debe ser analizada y certificada por el proveedor que nos suministra el concreto. Todo concreto estructural deberá de ser mezclado por medios mecánicos para garantizar la mayor homogeneidad posible de la mezcla.

El concreto postensado debe de ser de alta resistencia, lo que significa que se tendrán mezclas agua-cemento más bajas: esto a su vez requiere de un vibrado más intenso. Los concretos comúnmente empleados en la edificación varía de 300 a 400  $\text{kg}/\text{cm}^2$  a los 28 días, aunque se ha generalizando el empleo de concretos de resistencia rápida con los que podemos obtener el 80% de la resistencia de diseño del concreto en 3 días. Se ha generalizado en la práctica el presforzar un elemento de concreto cuando haya obtenido una resistencia mínima del 80% de su resistencia de diseño. Para saber la resistencia de una losa se ensayan cilindros los cuales son hechos del mismo concreto que se coloco en la losa.

Los agregados empleados para realizar la mezcla de concreto deben de garantizar la durabilidad y resistencia del concreto, así como una correcta colocación de la mezcla. En la práctica el tamaño máximo del agregado utilizado comúnmente para realizar la mezcla es de 20 mm (3/4"). Los agregados deben de estar libres de arcillas que pudiesen generar cambios de volumen en la mezcla, porque ocasionaría una disminución en la resistencia de la mezcla. Los agregados no deben de contener materiales que reaccionen negativamente al contacto con el agua y el cemento.

El tipo de cemento que se emplea en la mezcla de concreto es el cemento Portland en cualquiera de sus cinco tipos principalmente.

Los tipos de concreto más empleados son el I, II y III. El cemento es usualmente seleccionado en base a la capacidad de adquirir resistencia, durabilidad y economía.

Los tipo I y III son ampliamente usados en la construcción de puentes pero el tipo II es preferido para estructuras cercanas a la costa.

El tipo IV es empleado en la construcción de estructuras masivas de concreto donde el calor que generan las reacciones de la mezcla es un factor importante a controlar para que se desarrollen correctamente las reacciones en la mezcla. En concreto postensado no es empleado comúnmente.

El cemento tipo V es poco usado en estructuras de concreto postensado.

El agua empleada para la mezcla debe de estar limpia de cualquier material que altere las reacciones de la mezcla, de tal forma que no se dañe la durabilidad y resistencia de la misma.

Los aditivos son ampliamente usados para mejorar las características de la mezcla, para garantizar condiciones de diseño o trabajo que de otra forma no podrían realizarse. Los aditivos pueden mejorar desde la resistencia hasta la manejabilidad (fluidez) del concreto por lo que hoy en día casi todas las mezclas de concreto que se emplean en la edificación contienen aditivos de una u otra forma.

Una vez que el concreto ha sido colado se requiere llevar a cabo un curado del concreto para continuar las reacciones químicas que producen la resistencia y durabilidad del concreto. Algunas de las reacciones se llevan a cabo en un periodo corto de tiempo, otras requieren un periodo más largo, el tiempo exacto requerido depende en buena parte de la temperatura a la que se están llevando a cabo las reacciones, ya que las reacciones son diferentes ante la temperatura. Así que es esencial que se lleve a cabo el curado durante un periodo de tiempo que garantice que las reacciones se han llevado realizado, generalmente de 7 a 14 días después de colado será suficiente para garantizar dicha situación.

### **2.2.2 ACERO DE PRESFUERZO**

El acero de alta resistencia es casi el material universal para producir el presfuerzo y suministrar la fuerza de tensión en el concreto presforzado. La producción del acero de alta resistencia es por aleaciones. El carbón es un elemento extremadamente económico para aleaciones puesto que es barato y fácil de manipular. Otras aleaciones incluyen manganeso y silice.

Con esta aleación podemos esperar una carga a la ruptura de entre 17, 000 y 21000 kg en un torón de siete alambres de entre 1/2" y 5/8" de diámetro, los cuales son comúnmente empleados en los sistemas de piso de concreto en edificaciones. Para los grados 250 K y 270 K empleados para torones de alta resistencia, los cuales son empleados en sistemas de piso en edificaciones podemos esperar las siguientes características mecánicas:

Resistencia última a la tensión (fpu).

fpu = 17, 600 kg/cm<sup>2</sup> (250 K)

fpu = 19, 000 kg/cm<sup>2</sup> (270 K)

Resistencia a la fluencia ( $f_y$ )

$f_y = 15,100 \text{ kg/cm}^2$  (250 K)

$f_y = 16,200 \text{ kg/cm}^2$  (270 K)

Esfuerzo máximo en el acero de presfuerzo ( $f_{pj}$ ).

$f_{pj} = 0.8(f_{pu})$

El módulo de elasticidad es proporcionado por el fabricante del material, aunque se ha generalizado el empleo de un módulo de  $2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ . El cual lo podemos tomar para un cálculo inicial.

Para la edificación se ha establecido el uso exclusivamente del torón de siete alambres, siendo los diámetros más utilizados el cable de  $\frac{1}{2}$ " y de  $\frac{5}{8}$ " de diámetro. De acuerdo con las características de diámetro, módulo de elasticidad y fuerza de tensión suministrada al torón, se puede calcular una deformación teórica, la cual nos servirá de referencia para corroborar que la fuerza suministrada a los torones.

Existen variaciones en la deformación obtenida después de tensar con respecto de las que es esperada (teórica) ya que el módulo de elasticidad no es constante y la deformación medida en el laboratorio de la remesa de cable es medida en condiciones lineales y no con cambios de dirección del cable, lo que genera variaciones en la longitud de deformación esperada, además de que las pérdidas ya mencionadas en el primer capítulo no son enteramente precisas y constantes. Así que la lectura inicial de la deformación obtenida después de tensar debe de ubicarse dentro de la tolerancia establecida según la normatividad vigente.

Existen dos tipos básicos de torón para presfuerzo, con 7 o 19 alambres. Su selección depende principalmente del grado de flexibilidad y resistencia requerida. El más popular es el de 7 alambres, el cual es más fácil de fabricar y se usa generalmente en tamaños desde 6.4 mm hasta 18 mm de diámetro nominal o torones con un diámetro exterior que varía desde 18 hasta 32 mm.

Para formar un torón de 7 alambres, se sigue el siguiente procedimiento: se enrollan helicoidalmente 6 alambres alrededor de un alambre central; este enrollamiento constituye una sola capa que cubre al alambre recto mencionado, teniéndolo entonces como núcleo interior.

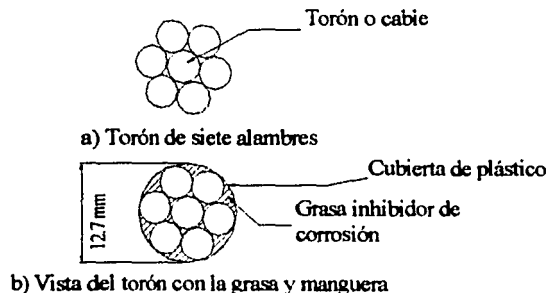


Figura. 2.2.2.1 Sección de torón de siete alambres de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro.



Después de haber tomado forma, el torón de 7 alambres se somete a un tratamiento de calor a baja temperatura, con el fin de obtener torones de relajación normal y baja. Para reducir el número de vacíos en la sección transversal, el torón deberá estirarse a través de un dado que lo comprime de tal manera que para conseguir un diámetro nominal, la cantidad de acero debe ser mayor, permitiendo así aplicar un mayor fuerza. Este tipo de torón tiene bajo relajamiento.

La construcción de torones con 19 alambres es más complicada, ésta comprende una capa interior de 9 alambres en hélice, colocados sobre un alambre central recto y una capa exterior de 9 alambres de mayor diámetro o bien un torón de 7 alambres y una capa exterior de 12 alambres de dos diferentes diámetros.

Al igual que los torones que son formados por alambres, existen barras de acero de alta resistencia que son moldeadas en una sola sección con la finalidad de soportar fuerzas importantes de tensión que no se logran con los torones. Las barras de acero se producen en diámetros y longitudes comerciales aunque se pueden fabricar en cualquier longitud dependiendo de las necesidades del diseño de la estructura.

### **Deformación en el acero de presfuerzo**

El acero de presfuerzo es sometido a una fuerza de tensión, la deformación producida por la fuerza de tensado puede ser calculada de acuerdo con la ecuación 2.A.

Los tendones de acero una vez que son tensados y anclados sufren una pérdida de esfuerzo debido al flujo plástico (relajación); en aplicaciones comunes se pueden esperar pérdidas del 6 al 13%. Existen dos tipos de relajación, normal y baja.

Los términos de relajamiento normal y bajo se aplican lo mismo a los torones que a los alambres. El relajamiento se define entonces como la pérdida de presfuerzo después de cierto periodo de tiempo en el que un tendón de presfuerzo se tensa para un carga determinada, bajo condiciones de longitud y temperatura constantes.

Al referirnos a un relajamiento normal queremos decir que el torón o cable se deformará más después de ser aplicada la fuerza de tensión en el torón, que si aplicamos la fuerza en un torón de relajación baja, redundando en una pérdida de presfuerzo en cuanto más se deforme después de haber aplicado el presfuerzo.

Cualquier torón de presfuerzo no debe de sobrepasar el 80% de su capacidad de resistencia última a la tensión, en el momento de ser tensado, con lo cual se elimina prácticamente la relajación de esfuerzos.

### **Cálculo de deformaciones en acero de presfuerzo**

Mediante la ley de Robert Hooke que se expresa mediante la ecuación 2.A se puede determinar el comportamiento de las deformaciones del acero de presfuerzo bajo carga. La ley de Robert Hooke establece que el módulo de elasticidad de un material está dado por:

$$E = \frac{F \times L}{\Delta L \times A} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.A}$$

Donde

E = Módulo de elasticidad del material, en  $kg/cm^2$ . Podemos tomar 2, 100, 000  $kg/cm^2$

L = Longitud de cable tensado, en metros

$\Delta L$  = Deformación, en metros

A = Área del torón, en  $cm^2$

F = Fuerza aplicada al torón, en kg

La información conocida en esta fórmula es la fuerza de diseño aplicada al torón, la longitud del cable sin tensar, el área del torón y el módulo de elasticidad, por lo que despejando  $\Delta L$  podemos calcular una deformación teórica de acuerdo con las características antes mencionadas.

En el ejemplo 2.2.2.1 se calcula la deformación teórica esperada para un torón aplicando la ecuación 2.A.

### Ejemplo 2.2.2.1

Se ha tensado un cable aplicándole una fuerza de 14, 500 kg donde el área del torón según el fabricante es de  $0.98 \text{ cm}^2$  para un torón de  $\frac{1}{2}$ ", además de que las pruebas de la remesa del cable muestran un módulo de 2, 100, 000  $kg/cm^2$ . La longitud del cable que se tenso es de 16.8 m. Con lo que requerimos determinar la deformación esperada para las condiciones anteriores.

Datos

$$F = 14, 500 \text{ kg}$$

$$A = 0.98 \text{ cm}^2$$

$$E = 2, 100, 000 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 16.8 \text{ m}$$

Despejamos  $\Delta L$  de la ecuación 2.1.1

$$\Delta L = \frac{F \times L}{E \times A}$$

Sustituimos valores

$$\Delta L = \frac{14, 500 \text{ kg} \times 1, 680 \text{ cm}}{2, 100, 000 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \times 0.98 \text{ cm}^2} = 11.84 \text{ cm}$$

Por lo tanto la deformación esperada es de 11.84 cm para un torón con las características mencionadas, claro antes de estimar pérdidas en el caso de cables de presfuerzo instalados.

De no obtener la deformación teórica después de realizar el tensado se puede establecer despejando  $F$  la fuerza a que está sometido el torón de acuerdo con su deformación obtenida después de tensar (antes de estimar pérdidas). La finalidad de la fórmula es establecer los rangos de variación establecidos según la norma de  $\pm 7\%$  de la deformación teórica calculada para poder aprobar o no el presfuerzo suministrado al concreto, o en un momento dado saber a que fuerza es sometido el torón, de acuerdo con la deformación obtenida.

### **2.2.3 ACERO DE REFUERZO EN EL CONCRETO POSTENSADO**

Las barras de refuerzo juegan un papel muy importante en la mayoría del concreto presforzado porque resiste tensiones secundarias por el presfuerzo y confina las zonas de precompresión. Aunque se use refuerzo convencional, ya sea como acero repartido para la disminución de grietas o por requisitos de resistencia, el uso combinado de refuerzo presforzado y no presforzado proporciona un trabajo excelente.

El refuerzo provee resistencia a la torsión, al cortante, algunas veces trabaja en combinación con el acero de presfuerzo soportando parte de los esfuerzos a que está sometido el elemento. Además se establece el uso de acero mínimo por temperatura en elementos de concreto.

Para uso de acero de refuerzo encontramos diferentes grados de acero que van de 28 a 52, pero generalmente el grado más empleado en varillas es el de grado 42 en la industria de la edificación. Así que el acero de refuerzo ordinario es común en elementos postensados y en los presforzados en general. Este acero es útil para:

- Aumentar la ductilidad
- Aumentar la resistencia
- Resistir esfuerzos de tensión y compresión
- Resistir cortante
- Restringir agrietamiento
- Reducir deformaciones a largo plazo
- Confinar el concreto

En miembros postensados donde se instala el acero de refuerzo deberá de tenerse la precaución de colocar el concreto mediante vibración para obtener una buena compactación y por lo tanto una buena resistencia, asegurándose de que no se propicien oquedades dentro de la masa de concreto.

### **2.2.4 CORROSIÓN Y FATIGA**

Es esencial proteger el acero de refuerzo y de presfuerzo. El acero de presfuerzo suele ser más susceptible inicialmente ante la corrosión pues ésta puede afectar su ductilidad o simplemente reducir su sección transversal reduciendo así el presfuerzo y por tanto la resistencia máxima, la corrosión puede disminuir también la resistencia a la fatiga y es que hay que tener en cuenta que en los elementos postensados generalmente el acero de presfuerzo constituye la base del funcionamiento del elemento estructural donde se instala.

La fatiga no es un problema en los aceros utilizados para presfuerzo, porque los tendones de presfuerzo cruzan por un rango muy pequeño de esfuerzos mientras la carga varía desde cero hasta su valor máximo<sup>4</sup>.

## **2.2.5 CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE LOS MATERIALES**

Cada embarque de materiales de postensados entregados en el lugar de la obra deberá de acompañarse de una lista detallada que especifique los materiales que incluye ese embarque.

El acero de presfuerzo deberá de ser acompañado de las pruebas de laboratorio donde se establezca la deformación lineal del material entregado, además de proporcionar el módulo de elasticidad según las pruebas realizadas, o en caso de que la normatividad vigente de cada zona geográfica de México indique un modulo aplicable deberá de adoptarse la cifra recomendada. Debe verificarse el módulo de elasticidad que obtuvo el fabricante mediante las pruebas que éste realiza al cable.

En el caso de los equipos empleados para tensar deberán de acompañarse de un certificado de calibración, el cual ampara el correcto funcionamiento del equipo. Deberá de realizarse por lo menos una calibración de este equipo cada seis meses, dependiendo del uso.

## **2.3 EQUIPO PARA TENSADO**

Hay una diversidad de equipos para realizar el tensado, dependiendo de la patente, pero hemos de mencionar que todos parten del mismo principio, es decir el funcionamiento general es el mismo. El cual lo podemos describir de la siguiente forma:

El equipo consta de una bomba hidráulica que funciona con corriente eléctrica de 110 V o 220 V, esta bomba se encarga de bombear aceite a presión a un gato hidráulico mediante mangueras (dos generalmente) las cuales son conectadas al gato, la bomba cuenta con una válvula de tres pasos la cual se encarga de establecer la presión, neutralidad de presión y la liberación de la presión. El gato recibe la presión del aceite en los dos pistones con los que cuenta, mediante esta presión en los pistones el gato se abre y jala el cable de presfuerzo tensándolo. La presión ejercida sobre el torón es registrada mediante un manómetro que se encuentra colocado en la bomba. La presión que se libera después de que el cable ha sido tensado es la que se encarga de hacer funcionar un sistema el cual se encarga de introducir las cuñas en el anclaje, dicho sistema se encuentra en la parte frontal del gato.

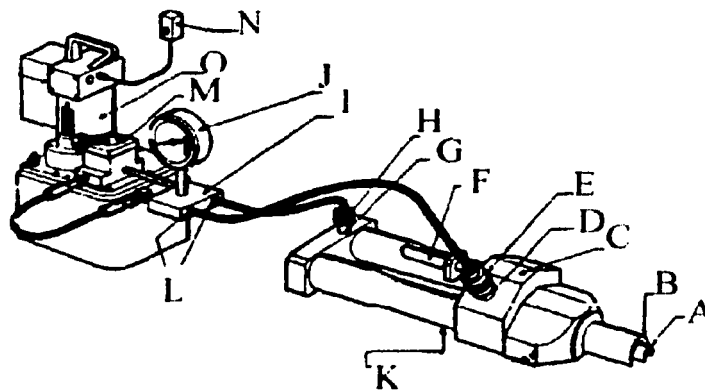
El sistema que se describe anteriormente es empleado para un sistema monotorón no adherido y para un sistema multitoron adherido de hasta 4 cables.

Cuando se emplean sistemas multitoron de más de cuatro cables es necesario emplear sistemas de gato que tensen los cinco o más cables al mismo tiempo, de tal forma que se jale y anclé todos los cables al mismo tiempo. Estos sistemas son comúnmente empleados en la construcción de puentes donde se requiere movilizar o soportar estructuras pesadas de 50 Ton o más.

---

<sup>4</sup> Información tomada de la bibliografía No. 6.

El equipo para tensar que se muestra en la figura 2.3.1 es el empleado en un sistema monotorón y multitorón de hasta cuatro cables. Las características que se presentan en este equipo son generales para todos los empleados comúnmente en México.



*Figura 2.3.1 Equipo típico para tensado de anclajes hasta para cuatro cables.*

Donde

- A = Asentador de cuñas
- B = Nariz del gato
- C = Cabezal
- D = Conexión de presión en gato (inyección de presión de aceite)
- E = Conexión de presión en manguera (inyección de presión de aceite)
- F = Porta mordazas
- G = Conexión de presión en gato (liberación de presión de aceite)
- H = Conexión de presión en manguera (liberación de presión de aceite)
- I = Caja de presión
- J = Manómetro
- K = Pistones
- L = Mangueras de presión
- M = Válvula de tres pasos
- N = Interruptor de corriente
- O = Motor de la bomba

Las unidades de medición de presión del manómetro en la bomba hidráulica pueden variar, como también el área de los pistones del gato donde se aplica la presión hidráulica, por lo que es importante tener en cuenta estas características para poder determinar la presión que deberá marcar el manómetro para suministrar una fuerza en específico a un cable.

En el ejemplo 2.3.1 mostraremos la presión que será necesaria registrar en el manómetro para suministrar una fuerza de tensado de 14 500 kg. La solución a este problema está basado en la siguiente ecuación.

$$P = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.B}$$

Donde

P = Es la lectura de presión en  $kg/cm^2$

A = Área del pistón o pistones del gato en que se suministra la presión en  $cm^2$

F = Es la fuerza de diseño que se suministrara al torón o cable en kg

### Ejemplo 2.3.1

Se tiene un equipo de tensado que se empleará para suministrar el presfuerzo a torones no adheridos, la fuerza que se deberá suministrar es de 14, 500 kg, de acuerdo con el manual de operación del equipo el gato tiene la siguiente área total en los pistones de  $61.2 \text{ cm}^2$ .

Datos

$$A = 61.2 \text{ cm}^2$$

$$F = 14,500 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Sustituyendo en la ecuación 2.B tenemos

$$P = \frac{14,500 \text{ kg}}{61.2 \text{ cm}^2} = 236.93 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Por lo tanto, el manómetro de la bomba deberá marcar una presión de  $236.93 \text{ kg/cm}^2$ .

## 2.4 DISPOSICIÓN GENERAL DE TENDONES EN LOSAS Y TRABES EN EDIFICACIONES DE CONCRETO POSTENSADO

Las características de instalación de los cables de presfuerzo en edificaciones con sistemas de piso de concreto postensado que se presentan en el desarrollo de este capítulo están basados en las recomendaciones aplicables a la construcción de sistemas de piso de concreto en edificaciones, que establecen el Instituto del Postensado (PTI, USA), el Instituto Americano del Concreto (ACI, USA), Instituto de Ingeniería (UNAM, México) y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto en el Distrito Federal. (NTCDF, México). No debe olvidarse que estas recomendaciones son válidas únicamente en la medida que cumplan los requerimientos de los reglamentos o códigos de diseño y construcción vigentes en cada región de México.

## 2.4.1 DISPOSICIÓN VERTICAL DE TENDONES

### Tolerancia vertical de instalación con respecto del trazo mostrado en planos

La colocación vertical de los tendones es presentada en los planos estructurales donde se detalla la ubicación de los soportes dentro de los elementos estructurales que se encargaran de dar la dirección del presfuerzo. Los soportes son barras de acero los cuales son realizados para soportar y garantizar la posición del torón para mantener su posición dentro de la tolerancia en cuanto a desviaciones verticales se refiere, de acuerdo con el trazo presentado en los planos estructurales para la colocación del presfuerzo.

Las desviaciones verticales<sup>5</sup> en la localización de los cables de los trazos según los planos estructurales de colocación de presfuerzo deberán estar en un rango de  $\pm 6$  mm en losas con peralte de hasta 20 cm, de  $\pm 10$  mm para losas entre 20 y 60 cm, y  $\pm 13$  mm para losas con peralte mayor a 60 cm.

El recubrimiento del acero de presfuerzo no debe de ser menor de 2 cm, en cualquier punto de su trayectoria. El recubrimiento del acero de presfuerzo indicado puede ser diferente (mayor), pues el recubrimiento inicial de 2 cm es el mínimo que se considera necesario para una protección anticorrosiva aceptable y un tiempo mínimo de resistencia al fuego, que en este caso es de una hora y después el incremento en los espesores está en función del tiempo que resistirá en caso de un mayor tiempo de exposición al fuego (incendio) y del tipo de agregado empleado en el diseño de la mezcla de concreto. En la tabla 2.4.1.1 se muestra el recubrimiento necesario en losas de acuerdo con el tiempo estimado que deberá de resistir la estructura en exposición al fuego en caso de incendio.

Adherido o No adherido	Tipo de agregado	Espesor del recubrimiento en mm, para un tiempo de resistencia al fuego de				
		1 hr	1.5 hr	2 hr	3 hr	4hr
No adherido	Carbonato	20	28	36	48	-
	Silíceo	20	32	40	54	-
	Ligero	20	26	32	42	-
adherido	Carbonato	20	20	20	26	32
	Silíceo	20	20	20	26	32
	Ligero	20	20	20	20	26

Tabla 2.4.1.1 *Espesor de recubrimiento sugerido para acero de presfuerzo en losas postensadas<sup>6</sup>.*

<sup>5</sup> Información tomada de la bibliografía No. 1 y 10.

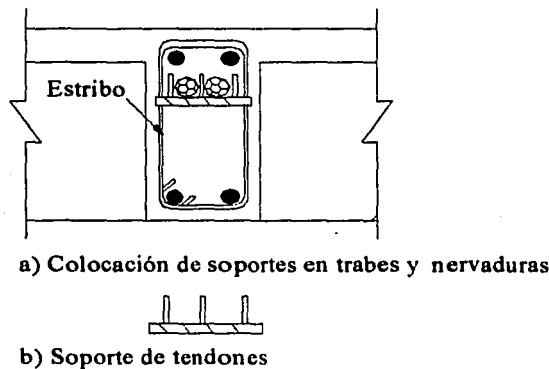
<sup>6</sup> Información tomada de la bibliografía No. 1.

## Soportes para cables de presfuerzo

Los tendones al ser colocados dentro de traveses, nervaduras o losas planas son instalados sobre soportes constituidos de barras macizas continuas perpendiculares a la dirección del cable, dichas barras de soporte no son requeridas por diseño estructural pero lo son para dar una posición a la dirección del torón. Además de que la presencia de las barras ayuda al control de grietas y a la distribución de la carga por la uniformidad de la colocación de los tendones. Típicamente se emplean barras del No. 3 y 4<sup>7</sup>. Las barras de soporte también tienen la función de prevenir desplazamientos horizontales del tendón durante el colado del concreto.

La separación o localización de estos soportes depende del diseño que se especifica en el trazo presentado en los planos de presfuerzo, así que el número y localización de soportes depende del diseño estructural que se presente para la colocación de los tendones, siendo necesario adicionar soportes en la media que sean necesarios para lograr la dirección o trazo marcado en los planos de presfuerzo.

La forma de los soportes que se instalen para dar la posición al tendón deberán de garantizar la posición del tendón dentro del elemento estructural de que se trate. En la figura 2.4.1.1 se presenta un soporte típico para la instalación de cables de presfuerzo en traveses y nervaduras.



*Figura 2.4.1.1 Soporte típico para tendones en traveses y nervaduras<sup>8</sup>.*

En la figura 2.4.1.2 se presentan dos tipos de soportes típicos para la colocación de tendones en losas planas.

<sup>7</sup> Información tomada de la bibliografía No.10.

<sup>8</sup> Información tomada de la bibliografía No.1.



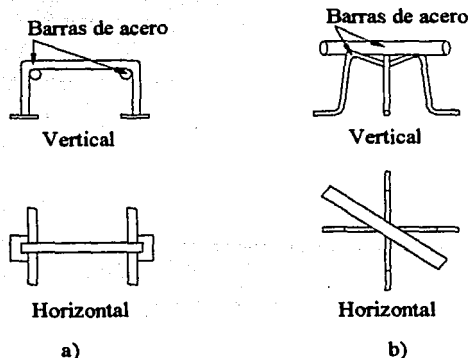


Figura 2.4.1.2 En el inciso a) y b) se muestran dos tipos de soporte para cables de presfuerzo en losas planas.

### 2.4.2 DISPOSICIÓN HORIZONTAL<sup>9</sup>

La disposición horizontal de los cables es un factor que hay que tomar en cuenta ya que es común tener que llevar a cabo desviaciones del cable de acuerdo con el trazo marcado en los planos. En la instalación de cables de una longitud mayor de 30 metros, se deberán de considerar ambos extremos del cable como activos en la instalación, es decir, dicho cable deberá de ser tensado por ambos extremos, realizando el tensado de uno a la vez.

En la figura 2.4.2.1 se muestra las posibles disposiciones horizontales de los cables dentro de un elemento.

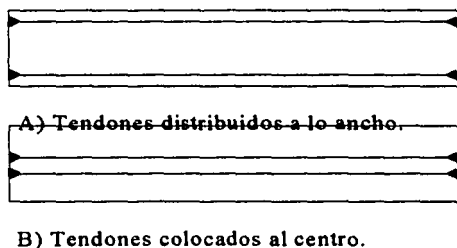


Figura 2.4.2.1 Formas de instalación horizontal de cable de presfuerzo dentro de un elemento.

La separación horizontal entre placas en módulos donde se encuentren hasta cuatro anclajes es de 7.5 cm, la separación entre módulos de cuatro anclajes será de 10 cm. No deben de colocarse mas de cuatro anclajes a una separación de 7.5 cm, así que en caso de más de cuatro anclajes en una

<sup>9</sup> Información tomada de la bibliografía No. 1.

banda deberemos de estimar una separación de 10 cm para iniciar un nuevo modulo de hasta 4 anclajes con una separación de 7.5 cm. Las distancias serán tomadas centro a centro de las placas de anclaje.

Se deberá tener en cuenta el siguiente criterio para establecer la conveniencia de las desviaciones horizontales de acuerdo con la figura 2.4.2.2.

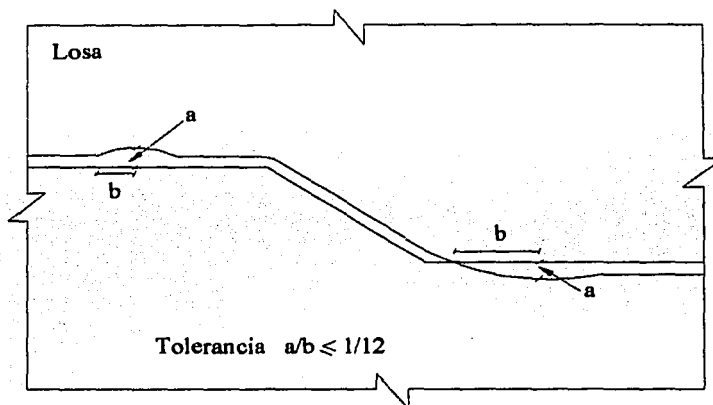


Figura 2.4.2.2 Tolerancia en desviaciones horizontales.

En el caso de los anclajes activos el torón debe de cumplir con al menos 92 cm de longitud recta a partir de la parte posterior de la placa antes de cualquier desviación horizontal y vertical. En el caso de losas planas con anclajes intermedios al borde de la losa, solamente será necesario una longitud recta de 41 cm.

El radio de curvatura mínimo para torones será de 2.4 metros<sup>10</sup>.

### 2.4.3 ACERO DE REFUERZO EN ANCLAJES Y TOLERANCIA EN DEFORMACIÓN DE TENDONES

#### Acero de refuerzo en anclajes<sup>11</sup>

Para resistir el esfuerzo generado por el presfuerzo a través de la placa en el concreto debe de colocarse artras del anclaje una parrilla transversal formada por barras verticales con la separación y cantidad recomendada para el sistema que se emplee o algún refuerzo equivalente.

Cuando las recomendaciones del fabricante no sean aplicables, la parrilla debe constar, como mínimo, de barras del número 3, colocadas cada 8 cm, centro a centro, en cada dirección.

<sup>10</sup> Información tomada de la bibliografía No.10.

<sup>11</sup> Información tomada de la bibliografía No.10.

La parrilla se colocara a no más de 4 cm de la cara interna de la placa de apoyo de anclaje. La parrilla deberá de cubrir una área mayor que la que cubre la placa.

### **Tolerancia en deformación de tendones<sup>12</sup>**

El alargamiento de los tendones una vez que son tensados deberá de ser  $\pm$  el 7% de los valores teóricos esperados, que resulta de restar a la fuerza de tensado inicial las pérdidas de presfuerzo esperadas, considerando la deformación obtenida en el cable como la comprobación del esfuerzo real inducido al acero de presfuerzo. Las medidas de los alargamientos deberán hacerse con un dispositivo que garantice una precisión de  $\pm$  3 mm, esta recomendación debe aplicarse tanto para la marca realizada en el torón antes de tensar, como la medida de la deformación después de tensar.

Lo que se busca con estas tolerancias es establecer un factor de seguridad en el que el sistema se comportará adecuadamente con una fuerza de tensión y por lo tanto de presfuerzo aceptable.

---

<sup>12</sup> Información tomada de la bibliografía No.1.

## **CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO PARA LA COLOCACIÓN DE MONOTORÓN NO ADHERIDO**

La descripción de la propuesta de este procedimiento para la colocación del sistema monotorón no adherido en losas y traveses de concreto está desarrollado en base a la práctica continua en la instalación del sistema. Los diferentes procedimientos que se abordan en este capítulo son bajo las condiciones que se desarrollan generalmente durante la colocación del sistema. Todos los ejemplos que se presentan en este capítulo fueron tomados de dos proyectos que se construyeron en el Estado de México.

En este capítulo se describe cada uno de los elementos o condiciones que integran la instalación del sistema, implicando los elementos normativos y prácticos que intervienen en la instalación, lo cual es importante cuando se entra en contacto por primera vez con la instalación de este tipo de presfuerzo.

### **3.1 PLANOS PARA LA INSTALACIÓN DE PRESFUERZO**

#### **3.1.1 TIPOS DE PLANOS PARA LA INSTALACIÓN DE PRESFUERZO**

En todo procedimiento de instalación de presfuerzo se deberán especificar planos aprobados para la ejecución de la instalación del sistema. Opcionalmente algunas compañías colocan la leyenda "APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN" lo cual garantiza que estamos trabajando sobre planos revisados y actualizados.

Todos los planos aprobados para instalación de presfuerzo son localizados dentro de un marco que contiene un recuadro en la parte inferior llamado "pie de plano" el cual contiene la siguiente información:

- Persona que diseño
- Fecha de elaboración
- Número de revisión del plano que corresponde a la fecha
- Número de plano
- Planos de referencia
- Información de la empresa que elaboró el proyecto
- Nombre de proyecto
- Título del plano
- Propietario del proyecto
- Ubicación del proyecto
- Persona que dibujo
- Persona que aprobó
- Responsables del proyecto
- Responsables de la supervisión
- Tiempo de inicio y término de la obra
- Escala del dibujo
- Unidades empleadas

En general el tipo de planos establecidos para la instalación del sistema de postensado los podemos clasificar dentro de los siguientes tipos por su contenido.

1. **Plano de notas generales de presfuerzo.** Este es un plano en el que se establecen las especificaciones generales de instalación del sistema de postensado empleado, describiendo los procedimientos y características de los materiales empleados en la instalación del sistema.
2. **Plano de localización presfuerzo visto en planta.** Es un plano visto en planta por nivel de instalación, donde se establece la ubicación del cable de presfuerzo, en este plano, se asigna a cada trazo (área específica donde se instalarán uno o más cables) un número para la posterior identificación de la trayectoria de éste dentro del elemento donde se instalará, por medio de los planos de secciones de trazos. Además se colocan signos o números que identifican la cantidad de cables que deberán existir en cada trazo en específico.
3. **Plano de sección de colados en planta.** En este plano está dibujado el nivel de instalación en planta, generalmente se emplea la planta del tipo de planos anterior, en el cual se establecen las áreas a colar y la secuencia que estas deberán de seguir.
4. **Plano localización vertical de presfuerzo en losas y trabes.** Este plano contiene la información de cada trazo para cada nivel de instalación de presfuerzo. Estos planos contienen las secciones en corte de cada elemento estructural donde se marca la dirección, parábolas y puntos por donde el cable deberá pasar además de establecer el número de cables en el área del trazo.

Se debe de revisar que en campo se tiene la última revisión de los planos de presfuerzo, dicha revisión está marcada por la fecha en que se llevo a cabo, ambos datos están contenidos en cualquiera que sea el tipo de plano, así que es conveniente revisar periódicamente la última revisión de los planos para comprobar que no ha habido ningún cambio en estos, porque de lo contrario se podría estar aplicando información incorrecta durante el proceso de instalación del sistema de presfuerzo.

### **3.1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PLANOS PARA INSTALACIÓN DE PRESFUERZO**

Los planos elaborados para la ejecución de un proceso o procedimiento constructivo tienen la información necesaria (dibujos, datos técnicos, etc.) para llevar a cabo los trabajos a que está referido dicho plano y los planos de presfuerzo no son la excepción, éstos deben de contener cierto tipo de información para la correcta instalación del sistema (tipo de patente) que se emplee, es conveniente mencionar que las características de los planos, en cuanto a simbología se refiere, y a la que nos referiremos a partir de este momento puede variar de acuerdo con la conveniencia de cada empresa dedicada al presfuerzo, pero si bien es cierto que los símbolos con que se identifique la información varía, también es cierto que el contenido de la información en general es la misma, por lo que la simbología que se maneja en este capítulo es sólo una de las formas en que se representa dicha información.

### **Características de los planos empleados para notas generales de presfuerzo**

El plano PP-00 (ver la página 50) está referido a las notas generales de presfuerzo el cual contiene la siguiente información:

- Características de los materiales empleados
- Descripción del procedimiento general de instalación y tensado de cables
- Características de la patente de instalación, así como el diagrama de instalación de la misma y
- Simbología adoptada para localización del presfuerzo

### **Características generales de los planos de localización de presfuerzo visto en planta**

El plano PP-01 (ver la página 51) contiene la información para la localización e identificación en planta del presfuerzo (en este caso se trata de una losa nervada con presfuerzo en algunas trabes).

La información que contiene este plano es la siguiente:

- Ejes coordenados
- Cotas de ubicación
- Simbología de localización de presfuerzo
- Tipo de elementos estructurales (trabes, nervaduras, muros, columnas)
- Tabla de simbología
- Vista en corte de algunas secciones de losa
- Notas referentes al plano

Todos los planos de localización de cualquier elemento estructural son referidos a ejes coordenados que son identificados mediante letras o números, generalmente se emplean letras en un sentido y los números en otro.

En estos planos los elementos estructurales y el presfuerzo son localizados por medio de ejes coordenados y longitudes llamadas "cotas". Estas distancias llamadas "cotas" se encargan de dimensionar y localizar los elementos que integran el dibujo a partir de los ejes coordenados. La simbología empleada para la identificación de los elementos estructurales es la usada en los planos estructurales.

**Ejemplo 3.1.2.1** Determinar las características de los trazos 1,17 y 29 según el plano PP-01.

#### **Solución**

Las características que podemos observar de la localización del acero de presfuerzo en el plano PP-01 están establecidas en la tabla 3.1.2.1.

## NOTAS DEL PRESFUERZO

### 1.- ACERO DE PRESFUERZO

- 1.1 EL CABLE DEL ACERO DE PRESFUERZO, DEBERA SER DE  $\phi=1/2"$ , DE BAJA RELAJACION DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM-A416, DE GRADO 270 KSI Y CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:
- |                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| DIAMETRO NOMINAL      | 1/2"                               |
| AREA DEL TORON        | 0.9871 cm <sup>2</sup>             |
| MODULO DE ELASTICIDAD | $2 \times 10^4$ kg/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO ULTIMO       | 19,000 kg/cm <sup>2</sup>          |
| FUERZA INICIAL        | 14,500 kg                          |

- 1.2 LOS ALARGAMIENTOS DE LOS CABLES SERAN MEDIDOS EN OBRA Y REPORTADOS PARA SU VERIFICACION.

- 1.3 LOS ANCLAJES DEBERAN CUMPLIR CON LOS REQUERIMIENTOS INDICADOS EN EL ACI Y EL PIL.

- 1.4 LOS ANCLAJES SERAN DEL TIPO QUE SE INDICA CON BLOQUE DE ANCLAJE, CUFAS Y CAPSULAS PLASTICAS EXTERNAS. LAS CAPSULAS EXTERNAS PODRAN REUTILIZARSE EN OTRAS LOSAS.

- 1.5 LA DISTANCIA INDICADA EN LOS PLANOS DE TRAZO SE MEDIRAN A PARTIR DE LA CARA SUPERIOR DE LA CUBRA HASTA EL EJE DEL DUCTO.

- 1.6 TODOS LOS CABLES DEBERAN SUJETARSE A LOS ESTIROS O VAPILLAS DE LA ESTRUCTURA EMPLEANDO ACERO DE REFUERZO DE UN DIAMETRO MINIMO DE 3/8". PROPORCIONADOS POR EL CONSTRUCTOR. EL CABLE SE SUJETARA ALARMADO DE ACERO UTILIZANDO ALAMBRE PEQUEÑO.

- 1.7 LA SECUENCIA DE TENSAO DE LOS TORONES SE INDICA EN LOS PLANOS DE TRAZO.

- 1.8 EL CONCRETO DEBERA SER COLOCADO DE MANERA QUE SE CONSERVEN LOS DUCTOS EN SU POSICION. LOS TRABAJADORES DEBERAN TENER CUIDADO DE NO PISAR LOS DUCTOS. CUALQUIER DUCTO DESPLAZADO DURANTE LA COLOCACION DEL CONCRETO DEBERA SER COLOCADO EN SU POSICION ORIGINAL.

- 1.9 LOS TRABAJOS DE TENSAO DE LOS TORONES DEBERAN SER REALIZADOS POR PERSONAL CALIFICADO. EL RESPONSABLE MANTENDRA EL CONTROL Y VERIFICARA TODAS LAS OPERACIONES.

- 1.10 EL TENSAO DE LOS TORONES NO PODRA COMENZAR HASTA QUE EL CONCRETO HAYA ALCANZADO UNA RESISTENCIA MINIMA DEL 80% DE SU SISTEMAS A LA COMPRESION. LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DEBERA SER VERIFICADA EN PUNOS DE ENSAYOS CUADROS BAJO LAS MISMAS CONDICIONES DE LA OBRA.

- 1.11 LOS CABLES DE PRESFUERZO SERAN TENSAOS UTILIZANDO "GATOS" HIDRAULICOS PARA TENSAO, EQUIPADOS CON MANOMETROS PARA MEDIR LA TENSION APLICADA.

### 2.- PROCEDIMIENTO DE APLICACION DEL PRESFUERZO

- 2.1 SE DEBERAN DE REMOVER Y RECOLECTAR LOS MOLDES DE PLASTICO UTILIZADOS EN EL ANCLAJE ACTIVO.

- 2.2 SE RETIRARA EL SOBRIANTE DE CONCRETO EN LA ZONA DE ANCLAJE Y DEBERA REMOVERSE CUALQUIER EXCESO DE GRASA QUE SURTA LA PENETRACION DE LA CUBA EN EL ANCLAJE.

- 2.3 SE INSTALARAN LAS CUFAS DE MANERA QUE LOS CAJOS QUEDEN PARALELOS A LA SUPERFICIE DE LA LOSA.

- 2.4 UTILIZANDO UNA PIEZA DE METAL O DE MADERA, SE HARA UNA MARCA EN CADA SALIENTE DE TOPÓN A UNA DISTANCIA DE 30 cm DESDE LA CARA DEL CONCRETO, UTILIZANDO UNA PUNTERA DE SECAO PAISADO. EN EL CASO DE QUE EL TORON SE TENSA POR AMBOS EXTREMOS SE DEBERAN MARCAR EN LOS DOS LADOS.

- 2.5 EL "GATO" DEBERA COLOCARSE CONCENTRICAMENTE CON EL ANCLAJE Y SUJETAR AL TORON DE PRESFUERZO. AL APLICAR LA FUERZA SE DEBERA ACCIONAR LA PARTE HIDRAULICA DEL MSAO PARA ASESTAR LA CUBA DENTRO DEL ANCLAJE.

- 2.6 APLICADA LA FUERZA DEL PRESFUERZO, SE COLOCARA LA PIEZA DE METAL O DE MADERA CONTRA LA CARA DEL CONCRETO Y SE MEDIRA A PARTIR DE ESTE PUNTO HASTA LA MARCA EN EL TORON EL ALARGAMIENTO DEL MISMO PARA SU REGISTRO.

- 2.7 LOS ALARGAMIENTOS DE CADA UNO DE LOS TORONES DEBERAN SER REGISTRADOS Y REPORTADOS A VSL.

- 2.8 APLICADO EL PRESFUERZO A LA LOSA, SE DEBERAN CORTAR LOS EXCEDENTES DE TORON A UNA DISTANCIA DE 2 cm A PARTIR DEL ANCLAJE.

### 3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

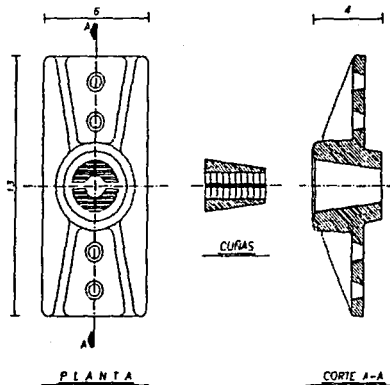
- 3.1 EN EL CASO EN QUE SE TENGAN QUE DEJAR JUNTAS FINAS EN LA LOSA, ESTAS DEBERAN PREVERSE A LOS QUINTOS DEL CLARO EN LA DIRECCION PERPENDICULAR AL DE LA JUNTA.

- 3.2 DEBERAN NOTIFICARSE LA UBICACION DE LAS JUNTAS PRE-EXISTENTES EN EL PROGRAMA CONSTRUCTIVO PARA EVALUAR LOS POSIBLES ANCLAJES INTERMEDIOS.

- 3.3 EL CONSTRUCTOR DEBERA INFORMAR EL PROGRAMA CONSTRUCTIVO DE LA OBRA PARA EL HABILITADO DEL ACERO DE PRESFUERZO, UNA VEZ ACORDADO, ESTE SERA MANEJABLE DEBIDO A QUE LOS TORONES SE PRE-HABILITARAN CON LAS MEDIDAS DE PROYECTO Y DE ACUERDO AL COLEADO DE LAS LOSAS. CUALQUIER CAMBIO QUE MODIFIQUE LA LONGITUD DE LOS TORONES SERA MOTIVO DE AJUSTES EN EL PRECIO PACTADO.



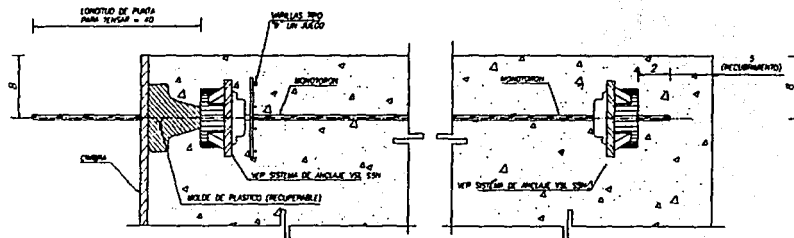
VAPILLAS DE 3/8" TIPO "W" PARA REFUERZO EN ANCLAJES EN ACERO



SISTEMA DE ANCLAJE VSL S58

### SIMBOLOGIA

- NODO EL NUMERO DEL NUDO
- ANCLAJE ACTIVO
- ANCLAJE PASIVO
- SISTEMA A USE EN LA CONSTRUCCION
- SISTEMA A USE EN OTRAS CONDICIONES
- SISTEMA A USE EN CASOS ESPECIFICOS
- NUMERO DE ANCLAJES A UTILIZARSE QUE SE DEBE
- NO USAR CABLES MENCIONADOS



DETALLE 1.  
ANCLAJE ACTIVO

DETALLE 2.  
ANCLAJE PASIVO

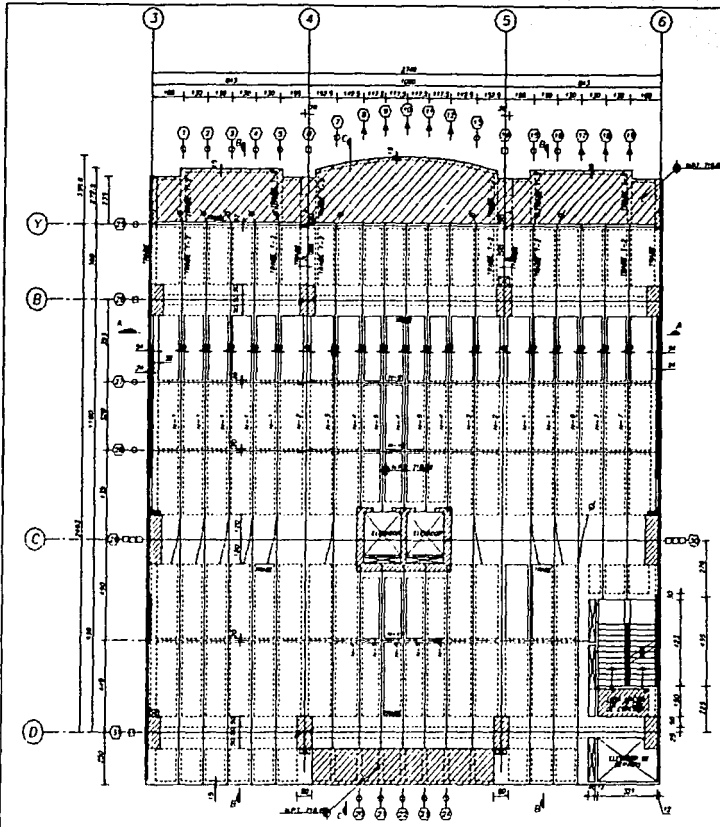
### SISTEMA MONOTORON

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

POR	FECHA	REV.	REVISION	No. DE PLANO	PLANOS DE REFERENCIA
XXX	27-02-2001	0	APROBADO PARA CONSTRUCCION		

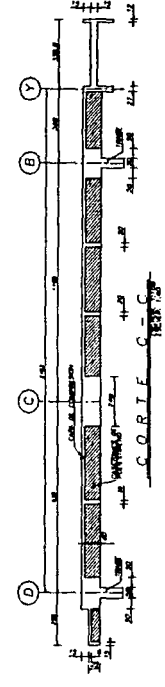
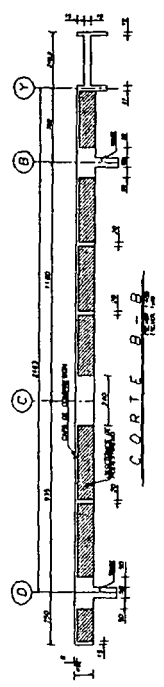
PROYECTO		TORRE 5	
NOTAS GENERALES DE POSTENSADO	REV. 0	PLANO NO.	
PROYECTANTE	MANUAL DE PRESFUERZO	FECHA	27-02-2001
COORDINADOR	CAPITULO 3	ESCALA	1:100
CONJUNTO	Y.Y.Y	PROYECTO	E.L.L.
		APROBADO	7.7.7.
		FECHA	09/10/01

TESIS CON FALTA DE ORIGEN

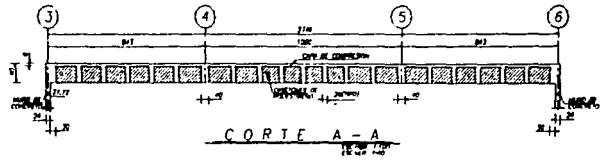


LEYENDA DE SIMBOLOGIA DE LOS CABLES DE ACERO PRESTRESADO CON CORTES A-A Y B-B

**PLANTA 1er NIVEL, PRESFUERZO**



- SIMBOLOGIA**
- INDICA EL NUMERO DEL TRAZO
  - ANCLAJE ACTIVO
  - ANCLAJE PASIVO
  - SISTEMA A BASE DE UN MONOTORON
  - SISTEMA A BASE DE DOS MONOTORONES
  - SISTEMA A BASE DE TRES MONOTORONES
  - SISTEMA A BASE DE CUATRO MONOTORONES
  - NUMERO DE ANCLAJES INTERMEDIOS QUE SALEN
  - ANCLAJE CABLES INTERMEDIOS



**NOTAS**

- 1.- LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN CENTIMETROS, EXCEPTO DONDE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- CONCRETO  $f_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ .
- 3.- CARGAS CONSIDERADAS:
  - CARGAS MUERTAS - SON LAS DEBIDAS AL PESO PROPIO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.
  - CARGAS VIVAS -  $170 \text{ kg/m}^2$ .

POR	FECHA	REV.	REVISION	NO. DE PLANO	PLANOS DE REFERENCIA
XXX	27-05-2001	0	IMPRESO PARA CONSTRUCTOR	PP-02	PLANTA 1er NIVEL PRESFUERZO
				PP-03	PLANTA 1er NIVEL PRESFUERZO EN HERRAMIENTAS
				PP-04	PLANTA 1er NIVEL PRESFUERZO EN HERRAMIENTAS

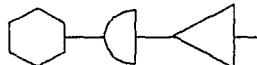
PROYECTO TORRE 5			
CLIENTE	PLANTA 1er NIVEL PRESFUERZO	PROYECTO	0
MANUAL DE PRESFUERZO	FECHA	PLANO NO.	
	27-05-2001		
LIBRO	CAPITULO 3	PROYECTO	PP-01
BOLETIN	XXX	BOLETO	111



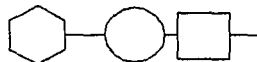
Trazo	Ubicación	Cantidad de cables	Observaciones
1	Entre los ejes 3-4 y de los ejes D a Y	2 +1	Se trata de dos cables en toda la longitud del trazo y uno adicional del eje C a Y.
17	Entre los ejes 5-6 y de los ejes D a Y	3+1	Se trata de tres cables en toda la longitud del trazo y dos adicionales del eje D a C.
29	Entre los ejes 3-5 y sobre el eje C	12	En el trazo 29 encontramos tres cuadrados como identificación del número de cables por lo que se interpreta como doce cables (tres veces cuatro cables), de igual forma es posible encontrar la combinación de otros símbolos para establecer una cantidad en específico.

*Tabla 3.1.2.1 Características de trazos.*

Se pueden encontrar diferentes combinaciones de símbolos para marcar una cantidad de cables en específico como se muestra en la figura 3.1.2.1.



A) Símbolo indica 4 cables, que son uno mediante el círculo y tres con el triángulo.



B) Símbolo indica 6 cables, que son dos mediante el círculo y cuatro con el cuadrado.

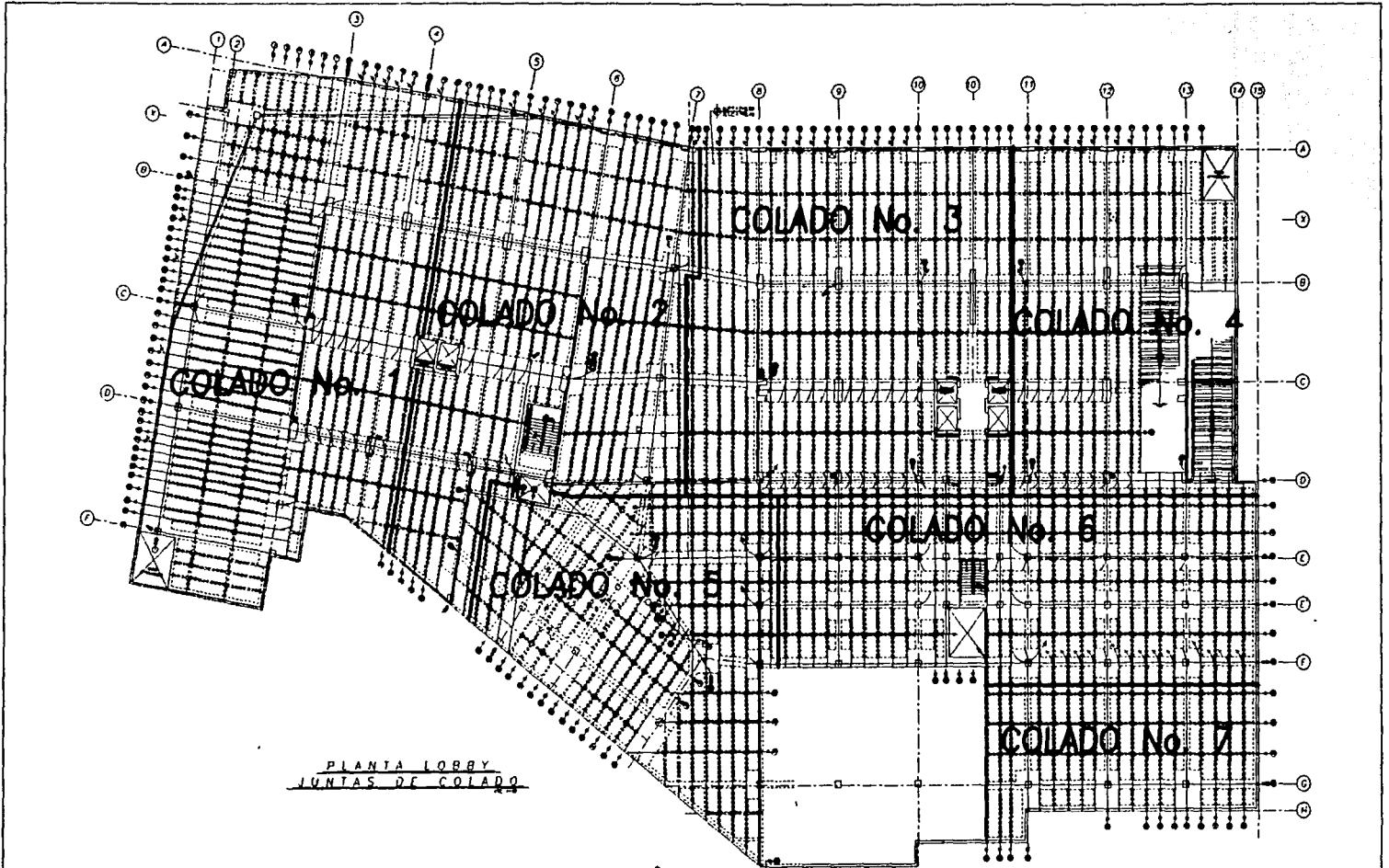
*Figura 3.1.2.1 Combinación de simbología para determinar 4 y 6 cables de presfuerzo.*

### **Características generales de planos empleados para especificar sección de colados**

Los planos empleados para determinar la división de las áreas a colar y la secuencia de colado que éstas deberán de seguir se presentan en una planta igual a la empleada en los planos de localización de presfuerzo (plano PP-01).

Este plano contiene la siguiente información:

- Sección de colados
- Número de colados
- Secuencia de colado



PLANTA LOBBY  
JUNTAS DE COLADO

POD	FECHA	REV.	REVISION	No. DE PLANO	PLANOS DE REFERENCIA	CLUB			
V.V.	21-02-55	1	APROBADO PARA CONSTRUCCION			TITULO	PLANTA LOBBY, JUNTAS DE COLADO	FOLIO	7
V.V.	21-02-55	1	18 DE SE. 1955			PROYECTO	MANUAL DE FOSTENSADO	FORMA	11-05-55
						LOCALIDAD	CAPITULO 3	CHG	PS-00
						PROY. V.V.	REV. E.E.E.	CHG	17.7

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En estos planos se delimita mediante una línea la división las diferentes áreas a colar y la secuencia que deberán de seguir, es importante conocer y tener presente la secuencia de colados ya que de ello depende el habilitado del cable e instalación del mismo para un colado determinado. En el plano SP-00 (ver la página 53) se establece un ejemplo de secciones para una losa de concreto, en donde se puede observar perfectamente la distribución de las diferentes áreas a colar y la secuencia que estas deberán de seguir.

No se deberá modificar el área de los colados, tampoco la secuencia de los mismos a menos que el departamento de ingeniería lo autorice.

### **Características generales de planos de localización vertical de presfuerzo en losas y trabes**

Este tipo de planos debe de contener en forma general la siguiente información, identificación y localización del presfuerzo en una vista transversal o corte transversal de las nervaduras, trabes y losas en su caso, donde se instalará el presfuerzo.

A continuación se establece la información que podemos encontrar en este tipo de planos y que podemos ver en el plano PP-02 (localizado en la página 55).

- Número de trazo, cantidad y ubicación de cables dentro del elemento donde se instalará, el número de trazo y cantidad de cables debe coincidir con la información mostrada en el plano PP-01.
- Parábolas que deberá cumplir el cable.
- Distancias verticales y horizontales de los puntos altos (PA), puntos bajos (PB), puntos de inflexión (PI), que deberán de cumplir las parábolas que integran la sección del cable.

En este tipo de planos se utiliza un mismo corte para identificar trazos diferentes, aún cuando su localización sea en nervaduras diferentes, lo que sucede es que para estos casos la sección, las distancias y cantidad de cable para cada trazo son exactamente las mismas, así que podemos encontrar que a diferentes trazos les corresponde un mismo corte.

**Ejemplo 3.1.2.2** Determinar la localización de los siguientes puntos: PA, PB y PI del trazo 30 (T-30), mediante el plano PP-02.

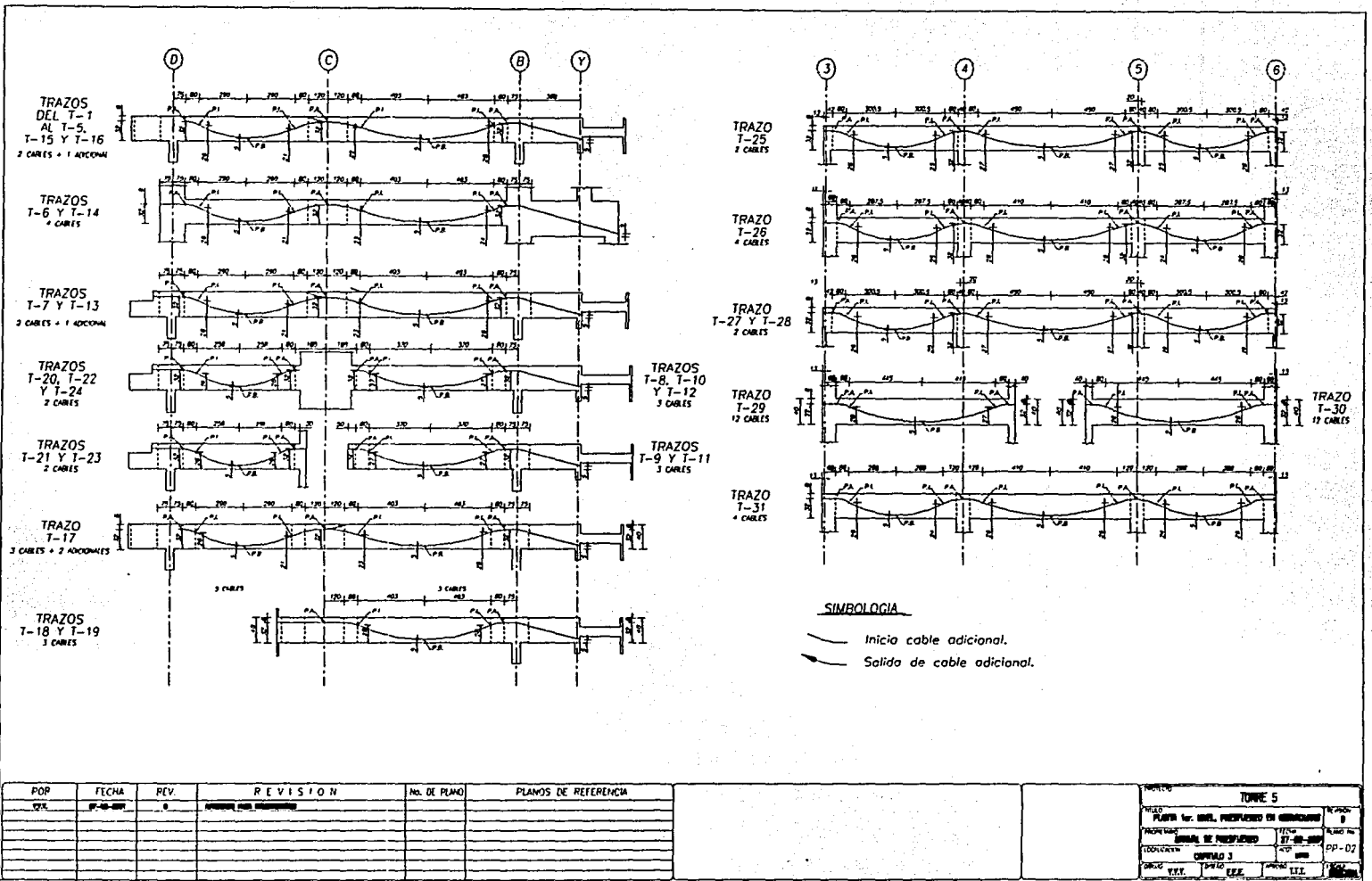
#### **Solución**

Refiriéndonos al plano PP-02 obtenemos las siguientes características establecidas en la tabla 3.2.1.2.

Trazo	Distancias verticales*			Distancia horizontal*			Parábolas	Observaciones
	PA	PI	PB	PA	PI	PB		
T-29	32	28	5	68	148	593	Una parábola del eje 3 a muro de elevador, entre el eje 4 y 5.	Localización de puntos del lado izquierdo a partir del eje 3.
T-29	32	27	5	40	120	565		Puntos de lado derecho medidos a partir del muro del elevador.

\*Las unidades son en cm.

*Tabla 3.1.2.2 Localización horizontal y vertical de presfuerzo.*



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **3.2 HABILITADO DE CABLE**

### **3.2.1 LONGITUD DE HABILITADO DE CABLE**

La longitud de habilitado de los cables es de acuerdo a la longitud de cada trazo y a la ubicación del corte de colado que se proyecte en su caso. Cuando el volumen a colar de concreto es considerable generalmente se cuela en secciones o áreas, por lo que al constructor le interesa descimbrar donde ya está colado para trasladar la cimbra a una nueva área por lo que deben preverse anclajes intermedios para poder postensar y dejar cables anclados de continuidad, es decir, postensar tramos de losa para aprovechar la cimbra y no tener que esperar a que toda la losa sea colada, lo que en algunos casos puede ser cuestión de semanas, así que para darle mayor movilidad a las cimbras generalmente se opta por utilizar concretos de resistencia rápida (RR), así podemos obtener resistencias de  $250 \text{ kg/cm}^2$  en tres o cuatro días.

Los cortes de colado son planeados según la mejor conveniencia para los elementos estructurales presforzados, deberá de tenerse en cuenta que de modificar tanto el orden como el área de los diferentes colados afecta la longitud del cable a emplear por lo que se debe tener el cuidado de tener la última revisión del plano de corte de colados.

Es necesario que los cortes de colado no generen longitudes de cable menores de 8 m, un cable menor a esta longitud propicia una pérdida de presfuerzo importante, debido a que los diferentes mecanismos de anclaje que emplean los gatos con los que se induce el presfuerzo, hacen que el cable regrese en ocasiones por más de un centímetro. Por ejemplo, en una longitud de cable de 5 m y  $\frac{1}{2}$ " de diámetro nos representaría, en caso de perder un centímetro por anclaje, una pérdida de alrededor del 20% de presfuerzo sólo por anclaje. En ocasiones la longitud del cable que regresa al momento de que se introducen las cuñas en la placa es mayor que lo mencionado con lo que las pérdidas de presfuerzo se incrementan considerablemente. En caso de que no se puedan evitar longitudes menores de 8 metros es recomendable consultar al departamento de ingeniería para un posible incremento en la fuerza de tensado inicial con la finalidad de minimizar las pérdidas por anclaje, esta consideración puede ser posible siempre y cuando la fuerza de diseño a que se someterá el cable no exceda el 80% de su resistencia última.

Hay que proteger todo el material del sistema de presfuerzo empleado contra daños durante su manejo y almacenaje. Se debe cuidar que el cable de presfuerzo no sufra daños como son, que se doble, rasgaduras en la manguera y oxidación en el cable, realizar trabajos de soldadura cerca del cable y que no sufra ningún tipo de calentamiento que pudiese alterar sus características físicas. En el caso del sistema de anclaje este debe protegerse contra el medio ambiente evitando que pueda sufrir una oxidación excesiva. Si alguna de éstas situaciones se presentara y estuviera en duda la calidad de algún cable o anclaje deberá de reemplazarse.

### **3.2.2 CÁLCULO DE LA LONGITUD DE HABILITADO**

#### **Procedimiento para el cálculo del habilitado de monotorón**

- a) Para cada trazo se localiza la salida de los anclajes rectos e intermedios en los planos de presfuerzo, de acuerdo con el corte y secuencia de colados a seguir. En el caso de cortes de

colados, los anclajes intermedios se proyectan en la trabe inmediatamente anterior al corte, así mismo se proyecta en ésta la colocación de los cables de continuidad.

- b) Ya determinada y ubicada la posición de los anclajes se localiza la longitud del cable empleando el plano localización vertical (ver plano PP-02) de presfuerzo, en donde se detallan las longitudes de las diferentes secciones de los trazos que se instalarán.

Los anclajes pasivos como activos se proyectan en trabes, columnas o muros y estos anclajes a su vez son colocados al inicio y final del elemento donde se instalarán respectivamente. La localización de los anclajes activos se proyecta al final del elemento estructural, esto referido al sentido de la instalación del cable, el caso de los anclajes pasivos estos se proyectan al inicio del elemento en el sentido de la instalación del cable.

- c) Para anclajes activos intermedios (anclajes a 45) en trabes se tiene que considerar una longitud adicional ya que generalmente estos anclajes se realizan inmediatamente después de la intersección con columnas o muros, esta longitud varía dependiendo del elemento donde se ancle, generalmente con 0.7 m se garantiza una salida adecuada. Esta longitud debe ajustarse durante el desarrollo de la obra a fin de optimizar la cantidad de cable empleado.
- d) Sumar una longitud de 0.05 m por cada parábola que se forme con el cable en espesores de elementos de hasta 0.40 m, en espesores de 0.40-0.60 m se recomienda un incremento de 0.15 a 0.25 m por eje, en espesores de 0.60-0.90 m se recomiendan un incremento de 0.40 a 0.50 m.
- e) Adicionar una longitud de 0.4 m, que es la longitud de punta de cable requerida para realizar el tensado. Esta longitud es tomada a partir de la placa donde se encuentra el punto activo. Si contamos con dos puntos activos se deberá sumar 0.4 m por cada extremo activo.
- f) Se determina la cantidad de anclajes y cable requeridos de cada longitud para cada trazo.

El personal a cargo de la instalación del presfuerzo debe tener una lista de habilitado donde se describan todas las operaciones que fueron necesarias para obtener el habilitado del cable. La cual además de servir para corroborar las operaciones de cálculo, servirá como guía en la instalación de las diferentes longitudes de cable.

Con la finalidad de facilitar su identificación y colocación es recomendable etiquetar el cable con la siguiente información: longitud de cable, trazo, ubicación y el número de cable con respecto a la cantidad que se establezca para un trazo en particular.

### 3.2.3 ACUÑADO DE ANCLAJE PASIVO

Cuando los cables se habilitan en longitudes menores de 30 metros pueden contar con un *anclaje pasivo*, es decir podrá contar con un anclaje ahogado en el concreto y solo será tensado el cable por un extremo, que en este caso se conoce como *anclaje activo*. Este anclaje pasivo es fijo y es acuñado antes de su instalación a una presión de diseño que debe ser igual o mayor a la fuerza de presfuerzo a la que será sometido el cable cuando se tense, a menos que se indique lo contrario por el departamento de ingeniería. Si se aplica una presión menor al momento de acuñar, con respecto a la presión que será ejercida al tensar el cable, el cable puede barrerse o desprenderse del anclaje

pasivo debido a que la lechada de concreto penetra en las cuñas del anclaje pasivo lo que provoca que las cuñas no se deslicen y el cable se desprenda. Cuando no penetra lechada de cemento en las cuñas es posible que al aplicar el tensado las cuñas del anclaje pasivo se deslicen, no permitiendo que el cable se desprenda, por lo cual, cuando se tenga duda de la presión de acuñado se recomienda que se impregne el anclaje pasivo de silicón o algún material que garantice que la lechada de cemento no penetrará en el anclaje, para garantizar un posible desplazamiento de las cuñas.

Es necesario recordar que el procedimiento de inducción de presfuerzo empleado en México y que es desarrollado en este trabajo es por medios mecánicos a través de una bomba y gato hidráulicos, los equipos de tensado empleados actualmente tienen la capacidad de poder acuñar los anclajes pasivos en los torones.

Existen equipos industrializados que son diseñados exclusivamente para acuñar los anclajes pasivos en los cables y que son empleados en la producción masiva de estos, en México las podemos encontrar, sin embargo es común que se empleen los equipos de tensado para realizar esta actividad por lo que a fin de presentar una descripción del procedimiento de acuñado nos referiremos al empleo del equipo de tensado para esta actividad, partiendo de que el principio de los equipos con los que se acuña es el mismo.

El siguiente procedimiento de acuñado de anclajes se describe considerando el empleo de un equipo de tensado (ver figura 2.3.1). Es necesario mencionar que cada equipo de tensado se debe de manejar de acuerdo con su manual de operación.

### **Procedimiento de acuñado de anclajes pasivos**

- A) Retirar la nariz del gato.
- B) Instalar el equipo de tensado: se conectan las mangueras de la bomba al gato, se instala el manómetro en la bomba y la corriente eléctrica al equipo.
- C) Cortar y retirar la manguera del cable de habilitado provisionalmente, la longitud de manguera cortada debe de ser la necesaria para que el gato pueda amordazar el cable sin manguera, en este caso con 0.50 m es suficiente.
- D) Limpiar el cable de grasa en la longitud de cable descubierto.
- E) Colocar el cable en el gato de tal manera que el sistema del gato que amordaza al cable lo pueda hacer en la longitud de cable desnudo, al mismo tiempo de lograr que el cable salga de la parte frontal del gato alrededor de 12 cm, para poder introducir en éste la placa.
- F) Se limpia la placa y se introduce con la parte posterior (parte plana) hacia la cabeza del gato y se ajusta la posición del cable para lograr que salga de la placa una longitud de aproximadamente de 5 cm de cable a partir de la parte frontal de la placa, esto es para garantizar una longitud de cable fuera de la placa ya acuñada de 2.5 cm como mínimo.
- G) Se limpian las cuñas y se introducen de forma uniforme (sin que tenga desplazamiento una con respecto de la otra) dentro de la placa mediante unos pequeños golpes.



- H) Sujetar el cable mediante el sistema de mordazas del gato. En la figura 3.2.3.1 se muestra la instalación del anclaje dentro del cable ya colocado en el gato.

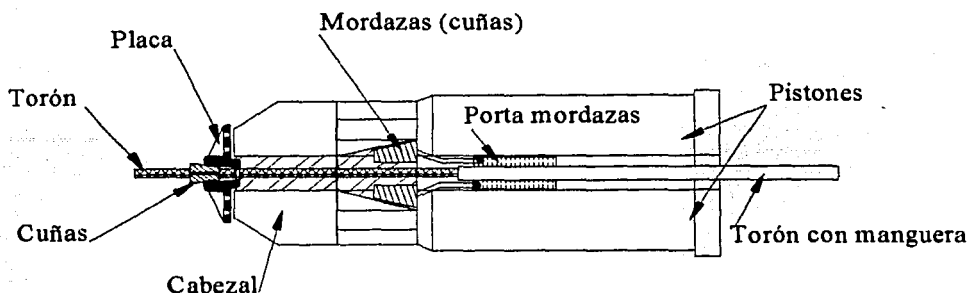


Figura 3.2.3.1 Instalación de anclaje para acañado de cable (vista posterior del gato).

- D) Colocar la válvula de la bomba en la posición de suministrar la presión al gato y hacer funcionar la bomba, así el gato se abre y empuja la placa para que penetren las cuñas, inmediatamente el manómetro en la bomba marca la presión que se le está suministrando al anclaje. La presión estimada para acañar un cable es recomendable que sea igual o mayor a la que será aplicada en el tensado de cables, esto cuando no se especifique en los planos la presión de acañado en anclajes pasivos.

No debe de olvidarse que ninguna persona debe colocarse frente al gato cuando se realicen los trabajos de acañado.

- J) Una vez que se tiene la presión especificada cambiar la posición de la válvula para liberar la presión y hacer funcionar la bomba, entonces el gato se retrae y podemos retirar el cable.

El gato sólo debe de retraerse hasta el punto que cierre totalmente, no debe de seguirse aplicando presión para que se retraiga una vez que ha cerrado completamente.

- K) Después de estar acañado el cable se coloca la manguera que fue cortada, teniendo en cuenta que la longitud desnuda del cable no sea mayor de 45 cm a partir de la parte posterior de la placa<sup>1</sup>, de ser necesario debe de sellarse la manguera colocada mediante cinta adhesiva.

Para el manejo y transporte de los cables habilitados pueden ser enrollados y amarrados mediante alambre recosido, hay que tener cuidado en el momento de desamarrar ya que flejea y puede causar un accidente.

<sup>1</sup> Información tomada de la bibliografía No. 1.

### **3.3 INSTALACIÓN DE MONOTORÓN NO ADHERIDO**

La instalación de cualquier elemento de postensado deberá de ejecutarse de acuerdo con los planos ejecutivos aprobados por el departamento de ingeniería. En las áreas donde se instala el presfuerzo se deberá colocar el acero que se especifique en los planos estructurales, y en las áreas complementarias de la losa o trabe que no se instale presfuerzo se colarán mediante la colocación de concreto con las mismas características.

Antes de iniciar la instalación de los cables de presfuerzo deberán revisarse los planos ejecutivos de presfuerzo. Deberá revisarse que los planos de presfuerzo cuenten con todas las acotaciones y distancias requeridas para la instalación de los cables de presfuerzo. La colocación vertical de los tendones y soportes deberá de cumplir con lo especificado en el capítulo 2.4.

Para la colocación del monotorón es necesario que tanto trabes, losas y columnas en donde se instalará el monotorón se encuentren totalmente terminadas, es decir, el acero totalmente habilitado, así como instalada la cimbra. En determinadas ocasiones podemos encontrar que algún barrote o perfil que conforman la cimbra de algún costado obstruya la salida correcta del torón, de suceder esto se deberá modificar la posición de este objeto que obstruye la salida. Es común que el acero de refuerzo obstruya por alguna razón la colocación del cable y anclajes, de suceder esta situación el acero debe ajustarse en otra posición, siempre y cuando no se afecte el funcionamiento del elemento estructural de que se trate, de no poder garantizar esta situación se deberá de consultar al departamento de ingeniería para una posible reubicación.

Cuando se coloque el concreto se debe tener especial cuidado de no golpear ninguno de los elementos que integran el acero de presfuerzo con el vibrador o mediante el equipo de vaciado del concreto, incluso el dejar caer el concreto directamente sobre el cable puede modificar la instalación del mismo. La instalación del cable debe garantizar que el concreto podrá pasar entre el acero de presfuerzo y que no habrá oquedades, generalmente los puntos o zonas que presentan problema son las áreas de los anclajes y puntos bajos (PB), por lo que el personal que coloca el concreto debe de tener especial cuidado de vibrar estas zonas.

#### **3.3.1 INSTALACIÓN DE SOPORTES**

Es recomendable que antes de la instalación del cable de presfuerzo y una vez colocado todo el acero de refuerzo se instalen los soportes que determinarán la dirección en los elementos estructurales (ver planos PP-01 y PP-02), ya que es más sencillo instalar los soportes no estando colocado el cable. La colocación de los soportes se puede hacer cuando el cable ya está instalado, pero el trabajo y tiempo para instalarlos se incrementa, así como la posibilidad de que se instale en una posición equivocada el cable.

Es importante que el acero de refuerzo y cimbra se encuentren totalmente calzados ya que de lo contrario todas las distancias que son medidas para la localización del acero de soporte de los cables variarán una vez que se calcen y será necesario corregirlas en su totalidad.

La longitud de los soportes deberá ser la necesaria para que éste pueda fijarse mediante amarres a los estribos tanto intermedios como extremos. La cantidad de amarres debe garantizar la posición del soporte, una ves instalado el toron.

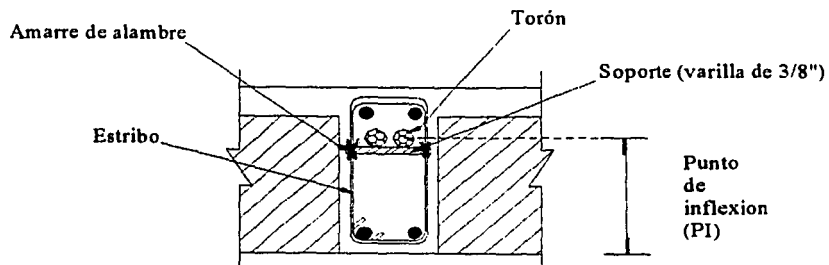
**Procedimiento para la colocación del acero de soporte de los tendones (cable), que se encargará de fijar la dirección y altura de los tendones**

1. Localizar en obra los trazos a instalar, según secuencia de colados (ver plano PP-01 o PS-00), una vez identificados los trazos, localizar su sección vertical correspondiente (ver plano PP-02). El plano de localización vertical de presfuerzo contiene la información de las distancias verticales y horizontales de la trayectoria que deberá cumplir el cable: puntos de inflexión (PI), puntos bajos (PB), puntos altos (PA).
2. Ubicar las distancias horizontales y verticales a los puntos bajos, de inflexión y puntos altos donde se localizarán los soportes para dar la trayectoria al cable. Las distancias horizontales y verticales deben de ser medidas cuando el acero y la cimbra se encuentren totalmente calzadas y niveladas para garantizar una correcta medición de las longitudes horizontales y verticales. Es recomendable localizar estos puntos por medio de longitudes en centímetros ya que las tolerancias y precisiones tanto de la construcción como de la instalación del sistema es al centímetro, además de que estas unidades son fáciles de manejar y proveen una exactitud suficiente en campo.

Las distancias horizontales se miden con referencia de la ubicación de los ejes constructivos de los planos y las distancias verticales a partir de la cimbra que se colocada en el lecho inferior de la losa o trabe que se colará, al centro de la sección del cable.

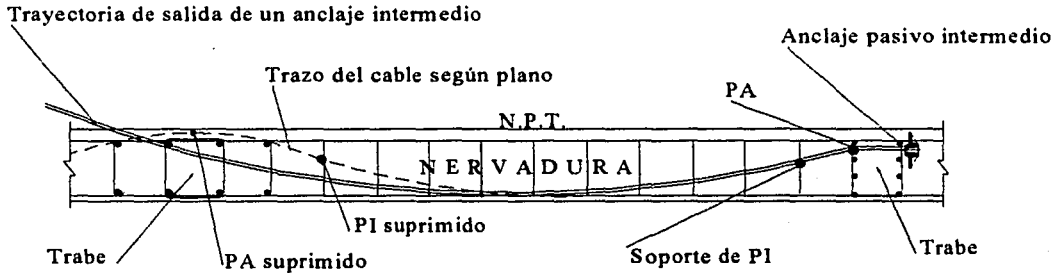
3. Localizada la posición de los soportes estos serán fijados en ese punto a los estribos y/o varillas del elemento estructural de que se trate mediante amarres de alambre recocido para evitar que estos puedan moverse, o mediante cualquier otro procedimiento que garantice su posición.

La figura 3.3.1.1 muestra un soporte típico para una nervadura o trabe. La cantidad y tipo de soportes que se instalarán serán los especificados en los planos de instalación del sistema de presfuerzo empleado de no especificarse ningún tipo de soporte se podrá instalar cualquiera de los recomendados (ver capítulo 2.4.1) o cualquier otro siempre y cuando éste garantice la posición de la instalación del cable.



*Figura 3.3.1.1 Soporte típico de tendón en travesaños y nervaduras.*

Cuando se proyecten anclajes activos intermedios deberán de suprimirse los puntos altos y de inflexión que sean necesarios para que en este extremo se garantice una salida adecuada del cable. En la figura 3.3.1.2 se muestra la salida de un cable en un anclaje activo intermedio, en donde se suprimen los puntos altos y de inflexión para lograr el anclaje.



N.P.T.= Nivel de piso terminado.

*Figura 3.3.1.2 Trayectoria de un cable con anclaje intermedio.*

### 3.3.2 INSTALACIÓN DE CABLE

El monotorón debe de cumplir con una trayectoria (generalmente una parábola) determinada dentro del elemento estructural donde se instala. La posición horizontal del cable está determinada en el plano de localización de presfuerzo (ver plano PP-01) y la vertical en el plano de sección de trazos (ver plano PP-02).

La colocación del cable y anclajes en cualquier punto debe de cumplir con un recubrimiento mínimo, que para acero de presfuerzo es de 2 cm. A menos que se indique un recubrimiento mínimo diferente para el acero de presfuerzo, que sólo podrá ser mayor a los 2 cm mencionados<sup>2</sup>.

Es factible que al iniciar un proyecto el personal encargado de la instalación del presfuerzo coloque el cable de tal manera que no se cumpla la sección del cable, por lo que es necesario que antes de iniciar se proyecte físicamente en obra con el personal los puntos por donde el cable deberá de pasar.

Por ejemplo, si en la intersección de traveses o nervaduras se debe cumplir con un punto bajo, el instalar el cable sobre el armado de una trabe o bajo el armado de otra hace la diferencia entre cumplir o no con el punto bajo establecido.

Es importante verificar que el cable instalando no tenga daños que pongan en riesgo o duda el buen estado del cable, como que este doblado o aplastado, que se encuentre demasiado oxidado y en el caso de anclajes muertos, que no presenten una oxidación importante. Las operaciones con soplete

<sup>2</sup> Información tomada de la bibliografía No. 1.

y de soldadura en la proximidad del acero de presfuerzo deben realizarse de modo que éste no quede sujeto a temperaturas excesivas, chispas de soldadura o corrientes eléctricas a tierra.

La instalación horizontal y vertical de los cables debe apegarse lo mejor posible a la localización que se presenta en los planos de presfuerzo. En el caso de desviaciones se debe cumplir con la normatividad aplicable (ver capítulo 2.4).

### **Procedimiento de instalación de monotorón**

1. Se identifican los trazos (número de trazo) que deberán de instalarse físicamente en obra, de acuerdo con los planos de localización de presfuerzo en planta (ver plano PP-00 o PS-00), con esta información identificamos la trayectoria del cable en el plano de localización vertical de presfuerzo ( ver plano PP-01) para establecer la dirección que deberá de cumplirse.
2. Con los trazos identificados localizamos el cable habilitado, identificándolo según la etiqueta pegada a la manguera del cable, o por cualquier modo de identificación que se adopte.
3. Se tiende el cable en el lugar que le corresponde para su instalación. La mayoría de los cables son recibidos en rollos flejeados. Un rollo atado es como un resorte que se expande al cortar el fleje. Esto puede ser peligroso, por lo que deberá cuidarse de la liberación de los cables. Además deberá de verificarse que el cable no tenga daños ocasionados por el manejo del mismo de lo contrario deberá de reemplazarse.

En el caso de que el cable cuente con un anclaje pasivo el cable debe de introducirse en el caso de losas nervadas o trabes por el área donde se proyecta el anclaje pasivo.

4. Se coloca el torón dentro del armado en el caso de nervaduras, trabes y sobre el armado en el caso de losas planas. El torón debe instalarse según la trayectoria fijada (sobre los soportes si están colocados) en los planos, si los soportes no están colocados se deberá de tener la seguridad de que el cable logrará la trayectoria indicada en los planos de presfuerzo. Cumpliendo con la normatividad aplicable en cuanto a desviación de la trayectoria especificada (ver capítulo 2.4).

### **Cable con anclaje recto**

5. Los torones rectos deberán de colocarse hasta el costado de la cimbra donde se proyecta el anclaje activo, para su posterior anclaje.

### **Cable con anclajes intermedios**

6. En el caso de que existan cortes de colado o cables adicionales en una losa o trabe, los anclajes intermedios de estos cables se proyectan sobre una trabe, por lo que en el caso de un anclaje activo deberá de salir entre el armado de la trabe (anclaje a 45), para su posterior anclaje. La salida del cable debe ser al final de la sección de la trabe donde se proyecta el anclaje, en el sentido de la dirección del cable. En el caso de un anclaje pasivo, éste deberá de colocarse al inicio de la sección de la trabe donde se proyecta el anclaje pasivo.

### Cable de continuidad

7. En el caso de los cables de continuidad, estos deben anclarse al inicio de la sección del elemento estructural donde se ha colocado el anclaje activo intermedio, esto en el sentido de la dirección del cable de continuidad.

### Anclaje intermedio en losas planas

8. En el caso de losas planas los anclajes intermedios activos se proyectan exactamente en el corte de colado de dicha losa, sin necesidad de cables adicionales de continuidad ya que un sólo cable es empleado para tensar la losa y dar la continuidad al presfuerzo.

En la figura 3.3.2.1 Se muestra la colocación de un cable en una nervadura con un anclaje activo intermedio, además se muestra un anclaje pasivo de un cable de continuidad y un anclaje pasivo extremo.

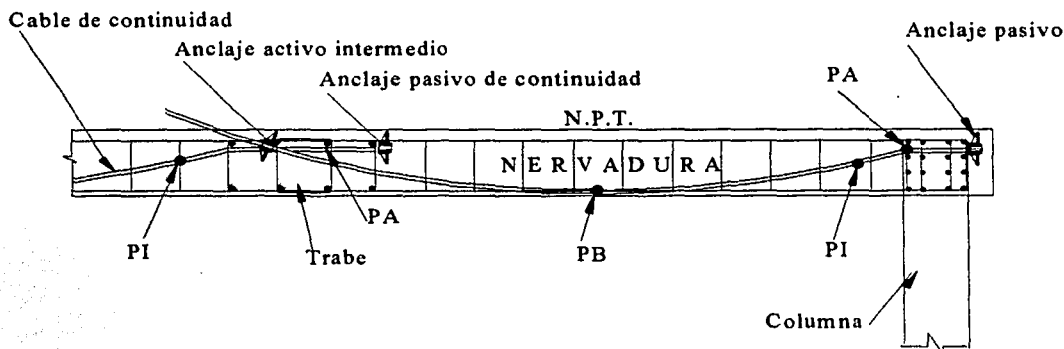


Figura 3.3.2.1 Instalación de cable de continuidad de una nervadura sobre una trabe.

En el caso de que se cuente en una nervadura o trabe con más de un cable se deberá de tener cuidado de que al introducirlos no se crucen, teniéndolos identificados para su posterior anclaje.

## 3.4 FIJACIÓN DE ANCLAJES

La colocación de anclajes, de acuerdo con la patente empleada, es detallada en el plano de notas generales de presfuerzo (ver plano PP-00), en el cual se muestran las características generales de instalación de un sistema en particular.

La fijación de los anclajes debe de cumplir con ciertas características que garantizan que este funcionará correctamente durante y después de tensado el cable, cumpliendo con la posición determinada en el plano de sección de trazos (ver plano PP-02).

Es muy importante proveer a las placas y cuñas de protección contra el medio ambiente para evitar una corrosión excesiva. En el caso de los anclajes activos una vez que han sido tensados se les

deberá de proteger con un anticorrosivo, esto se realiza generalmente aplicando pintura anticorrosiva para evitar una excesiva oxidación, porque pueden pasar más de 30 días para que estos sean cubiertos por concreto o grout de características similares al concreto instalado.

No hay que olvidar que los anclajes como parte del sistema de presfuerzo deben de cumplir con un recubrimiento mínimo de concreto que en este caso es de 2 cm.

Los elementos del armado o de la cimbra de los costados que obstruyan la instalación del anclaje, y por lo tanto la salida del cable, deberán de colocarse en otra posición, siempre y cuando su nueva posición no afecte el correcto funcionamiento de la cimbra o elemento estructural de que se trate. Cuando se trata de la cimbra no tenemos problemas en moverla para reubicarla ya que generalmente sólo hay que mover barrotes, pero no así cuando se trata del acero de refuerzo. En caso de que sea necesario remover o cortar totalmente acero de refuerzo se deberá consultar al departamento de ingeniería.

Cuando se vacié el concreto se debe tener especial cuidado de no golpear ninguno de los elementos que integran el acero de presfuerzo con el vibrador o mediante el equipo de vaciado del concreto, incluso el dejar caer el concreto directamente sobre el cable puede modificar la instalación del mismo. La instalación del cable debe garantizar que el concreto podrá pasar entre el acero de presfuerzo de manera que no exista riesgo de oquedad, generalmente los puntos o zonas que presentan problema son las áreas de los anclajes, por lo que el personal que coloca el concreto debe de tener especial cuidado de vibrar la zona de anclajes.

### **3.4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA COLOCACIÓN DE ANCLAJES**

#### **Anclaje activo recto**

1. Marcamos en el costado de la cimbra el punto por donde el cable debe de salir según el plano de localización vertical de presfuerzo (plano PP-02) y la perforamos para lograr colocar el anclaje y que el cable salga por el costado. La dimensión de la perforación depende del diámetro de la boquilla del molde de plástico que se introducirá en dicha perforación y que a su vez depende del sistema empleado.
2. Engrasar el molde de plástico y la parte interna de la placa ( la grasa puede ser tomada del mismo torón y es para facilitar la remoción del molde y no se adhiera concreto en la parte interna de la placa y sea fácil de limpiar) donde se alojará el cable para entonces introducir el molde de plástico en la parte frontal de la placa, según la posición indicada en el plano de notas generales de presfuerzo ( plano PP-00).
3. Ensamblar en la perforación realizada en el costado el molde de plástico con la placa, introduciendo el molde en el costado, de tal manera que el anclaje sea perpendicular con respecto al costado de la cimbra.

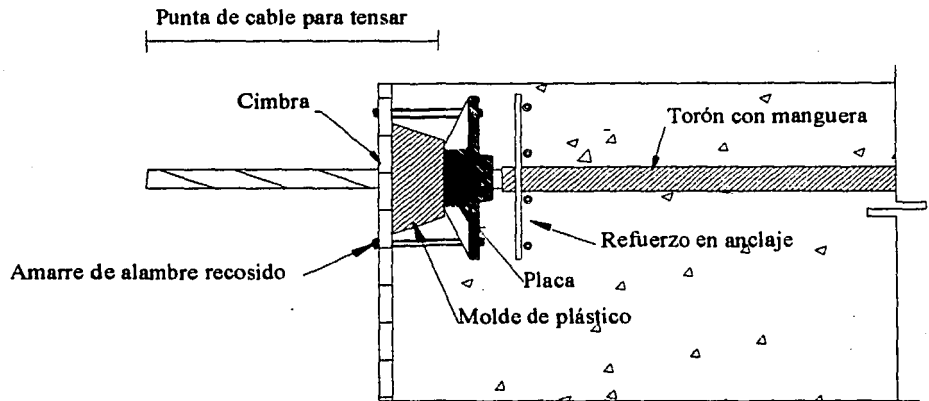
Es importante que el molde de plástico se introduzca totalmente dentro de la placa ya que el molde le da cierta dirección al torón una vez que es introducido en el anclaje, disminuyendo con esto la fricción entre la placa y el torón, además

de proporcionar ciertas características de recubrimiento al acero de presfuerzo y para la realización del tensado una vez que se ha retirado el molde.

4. Fijar los anclajes mediante amarres de alambre recosido al armado de acero y/o mediante amarres de alambre al costado de la cimbra o mediante cualquier otro procedimiento que garantice la posición del anclaje.

Al instalar el anclaje deberá verificarse que ninguna varilla u objeto obstruya la parte frontal de la placa donde sentará la nariz del equipo utilizado para tensar, dimensión que está determinada por el molde plástico.

En la figura 3.4.1.1 se muestra un anclaje activo recto ya instalado en un costado e introducido el cable en el anclaje.



*Figura 3.4.1.1 Anclaje activo recto.*

5. Instalados los anclajes se corta la longitud de manguera necesaria para introducir el cable dentro del armado, una vez cortada se retira del cable y se introduce el cable en el anclaje (no debe haber manguera dentro de la placa de anclaje). El cable debe ser perpendicular al anclaje (ver figura 3.4.1.1) e introducidos en orden en los anclajes ya que no deben cruzarse los cables.

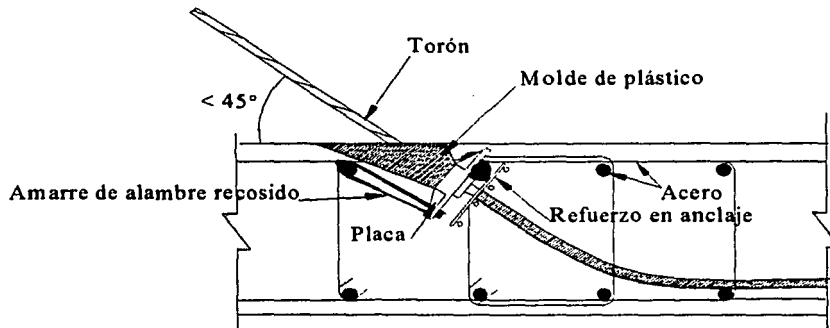
Cuando el torón cuente con un anclaje pasivo, una vez que ha sido introducido el cable en el anclaje activo, deberá fijarse el anclaje pasivo en la posición indicada por el plano de localización vertical de presfuerzo (ver plano PP-02).

Si se trata de un cable con dos anclajes activos, se corta aproximadamente 45 cm de manguera del torón y se introduce en el primer anclaje activo y en el siguiente anclaje se corta la longitud de manguera necesaria para poder introducir el torón en el anclaje y que no quede manguera en ninguno de los dos anclajes activos.



## **Anclaje activo intermedio**

1. Instalado el cable se corta la manguera en el extremo del cable del punto activo para introducir la placa, esta longitud es de aproximadamente 5 cm abajo del lecho superior del acero, esta longitud debe de ser suficiente para garantizar que no quede manguera dentro del anclaje.
2. Se cubre de grasa la parte interna de la placa y se coloca dentro del cable, este anclaje se fija al lecho superior del acero de refuerzo por medio de amarres de alambre recosido y/o soportes de varilla. El ángulo de salida del cable debe de mantenerse al mínimo posible, generalmente el ángulo de salida del cable una vez que la placa ha sido fijada es de entre 30 y 45 grados, aproximadamente. Entre menor sea el ángulo de salida del cable por la posición de la placa es mejor. En la figura 3.4.1.2 se presenta un detalle de anclaje activo intermedio.



*Figura 3.4.1.2 Anclaje activo intermedio.*

3. Una vez fija la placa se introduce el molde plástico cubierto de grasa en el anclaje. Es importante introducir totalmente el molde en la placa y tener la seguridad de que este no saldrá ya que el molde proporciona dirección de salida al cable disminuyendo la fricción entre estos. Podemos fijar el molde a la placa por medio de alambre recosido para garantizar su posición.

Si después de introducir el cable en cualquier tipo de anclaje ya sea recto o intermedio éste tiene más de 2.5 cm de longitud desnuda atrás del anclaje deberá de cubrirse, puede colocarse parte de la misma manguera que cubre el torón o cualquier otro material que garantice la protección del cable durante y después del colado. Debe de tenerse el cuidado de no introducir el material con que se cubra el torón dentro de la placa<sup>3</sup>.

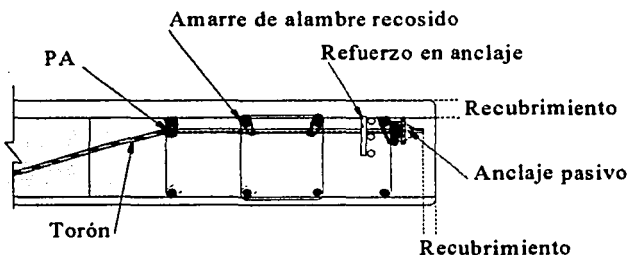
El cable desnudo que sale fuera de la placa para cualquier tipo de anclaje debe de cubrirse con la manguera que le fue cortada para prevenir que el cable se llene de concreto u otro material.

<sup>3</sup> Información tomada de la referencia No. 1.

En los anclajes activos es muy importante que el corte de la manguera para introducir el torón en la placa sea suficiente, tanto para introducir el cable en el anclaje como para garantizar que no quedará manguera dentro de la placa ya que esta situación ocasiona problemas cuando se requiere limpiar y tensar el anclaje, al grado de que es probable que no se pueda tensar el cable hasta que se retire la manguera, situación que es complicada.

### **Anclaje pasivo**

1. Revisar que la longitud de cable desnudo en la parte posterior de la placa sea menor de 45 cm, de lo contrario se deberá cubrir<sup>4</sup>.
2. Colocar el anclaje en la posición marcada según el plano de trazos de presfuerzo. El anclaje debe fijarse, en el sentido de la dirección del cable, al inicio de la sección del elemento estructural donde se instale, cumpliendo con el recubrimiento de concreto.
3. El anclaje se fija mediante amarres de alambre recosido al acero de presfuerzo y/o en su caso, mediante soportes que garanticen la posición del cable. En la figura 3.4.1.3 se muestra la instalación de una anclaje pasivo.



*Figura 3.4.1.3 Instalación de un anclaje pasivo.*

Una vez terminada la colocación del cable y anclajes se debe de fijar el cable dentro de la sección de la losa o trabe para garantizar su ubicación, los podemos fijar mediante amarres de alambre recosido teniendo cuidado de que al amarrar no se corte la manguera del cable.

### **3.4.2 REFUERZO EN ANCLAJES**

Los anclajes activos como pasivos son diseñados con un refuerzo que es colocado en la parte posterior de éstos, como lo podemos ver en el plano de notas generales sobre el presfuerzo (plano PP-00) en donde se detalla el tipo y colocación del refuerzo para este sistema en particular. Este refuerzo debe de fijarse mediante amarres de alambre recosido de tal forma que se garantice la posición en la parte posterior del anclaje.

<sup>4</sup> Información tomada de la bibliografía No. 1.

Cuando las recomendaciones del fabricante no sean aplicables, la parrilla debe de constar, como mínimo, de barras del número 3, colocadas cada 8 cm, centro a centro, en cada dirección. La parrilla se colocará a no más de 4 cm de la cara interna de la placa de apoyo del anclaje. La función de este refuerzo es resistir la fuerza de aplastamiento que le genera el presfuerzo, además de que la transferencia al concreto armado sea de manera adecuada<sup>5</sup>. En la figuras 3.4.1.1, 3.4.1.2 y 3.4.1.3 (ver paginas 67, 68 y 69 respectivamente) se muestra la colocación del acero de refuerzo para anclajes.

### 3.5 REVISIÓN ANTES DEL COLADO DE CONCRETO

Antes y durante la instalación del acero de presfuerzo, los diferentes trabajos que integran una obra siguen realizándose, entonces es posible que durante el desarrollo de alguno de ellos se mueva de su posición algún cable, así, es necesario revisar el estado de los cables antes de que inicie la colocación del concreto, además de supervisar que durante la colocación del concreto no se altere la posición del presfuerzo o en su caso corregir inmediatamente.

Los puntos que se tratan a continuación son los que se deberán revisar antes y durante el vaciado del concreto.

1. Instalación de todos los trazos que marcan los planos.
2. Cantidad de cables en cada trazo.
3. Sección del cable de acuerdo con el trazo.
4. El cable debe estar correctamente fijado y amarrado.
5. Los cables no deben de estar cruzados horizontalmente.
6. La manguera del cable no debe de estar rasgada más de 10 cm<sup>6</sup>.
7. El cable desnudo en la parte posterior del anclaje activo no debe ser mayor de 2.5 cm.
8. El cable desnudo en la parte posterior del anclaje pasivo no debe ser mayor de 45 cm.
9. El Anclaje activo fijo y perpendicular al cable o con un ángulo próximo a 90 grados.
10. El molde de plástico dentro de la placa y sin posibilidad de que salga.
11. Colocación de todo el acero de refuerzo en anclajes.
12. El recubrimiento mínimo de 2 cm en cualquier punto de la trayectoria del cable y anclajes
13. Las puntas de los cables en el extremo activo deben de estar cubiertos con manguera
14. Todas las alturas verticales del cable deben de estar dentro de las siguientes tolerancias (distancia medida de la cimbra al centro de la sección del cable): Las desviaciones verticales en la localización de los cables de los trazos deberán estar en un rango de +- 6 mm en losas con peralte de hasta 20 cm, de +- 10 mm para losas entre 20 y 60 cm, y +- 13 mm para losas con peralte mayor a 60 cm.
15. Cuando se cuele empleando vibradores para la colocación del concreto, estos no deberán de golpear directamente los soportes del cable.
16. La tubería para el vaciado del concreto y el vaciado mismo del concreto no deben de alterar la instalación del acero de presfuerzo.
17. Todos los soportes deben estar colocados y fijos (sin movimiento excesivo).

<sup>5</sup> Información tomada de la bibliografía No. 10.

<sup>6</sup> Información tomada de la bibliografía No. 1.

### **3.6 LA SEGURIDAD DURANTE LA INSTALACIÓN**

Es de vital importancia el estar conscientes de que antes de iniciar cualquier trabajo para instalación de presfuerzo es necesario contar con el equipo que garantice una seguridad a los trabajadores durante la instalación.

Generalmente los trabajadores minimizan el empleo de estos equipos con lo que se incrementa el riesgo de accidente durante los diferentes trabajos, por lo que se deberá de hacer conciencia en ellos para que empleen de forma correcta y permanente dicho equipo.

Si por alguna razón alguno de los trabajadores prescindiese de alguno de estos equipos se deberá retirar del frente de trabajo hasta que use el equipo correspondiente.

Por lo anterior, a continuación se detalla una lista del equipo que debe de existir en obra para el uso de los trabajadores, con lo cual garantizaremos los requerimientos mínimos de seguridad.

1. Casco de seguridad. Este debe emplearse de forma correcta, ya que sólo de esta forma se garantiza la resistencia del mismo ante impactos.
2. Botas con suela antiderrapante y casquillo.
3. Guantes de cuero o carnaza.
4. Lentes protectores.
5. Camisola de manga larga.
6. Arnés de seguridad con cabo de vida.

Es necesario proveer en todo momento al personal de este equipo para garantizar una seguridad aceptable durante los trabajos de instalación de presfuerzo.

Es común que se presenten las siguientes situaciones por no inducir una cultura de la seguridad en cuanto al empleo del equipo de seguridad:

1. Que no tengan arnés cuando trabajan en el vacío.
2. No usan guantes, porque no los quieren gastar o por incómodos.
3. Usan el casco con la parte frontal hacia atrás o lo cambian por una gorra.
4. Usan tenis o zapatos para trabajar.
5. No usan las gafas para no rayarlas.

Así que se deberá de estar en constante vigilancia de que se cumpla con el uso del equipo de seguridad.

## **CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO DE TENSADO DE MONOTORÓN NO ADHERIDO**

El procedimiento presentado en este capítulo ha sido considerado para reflejar seguridad mediante una correcta ejecución del tensado, este procedimiento está basado en la práctica generalmente aceptada para inducir presfuerzo en México que es por medios mecánicos, a través de equipos hidráulicos.

En la aplicación de presfuerzo deberán de tomarse en cuenta las recomendaciones y pruebas de los materiales realizadas por el fabricante. El fabricante debe suministrar con el material pruebas que certifiquen la calidad de los materiales que se están empleando en el sistema de presfuerzo, con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

El concreto en el que se aplicará el presfuerzo es diseñado con características específicas de resistencia y peso, éstas condiciones de diseño son tan importantes como la calidad de los materiales empleados en el sistema de presfuerzo, de no cumplirse con las características de diseño es posible que el comportamiento del sistema de presfuerzo no sea seguro y eficiente.

Por lo anterior es importante que se ejecuten las pruebas necesarias a los materiales para garantizar el comportamiento del concreto postensado. El control de las pruebas y certificados de los materiales y equipos empleados son importantes para cualquier duda de los materiales que se pudiese presentar en la ejecución de los trabajos de postensado.

### **4.1 LIMPIEZA DE ANCLAJES ACTIVOS**

Podemos empezar a trabajar en la limpieza de anclajes sobre la loza o trabe que fue colada después de que el concreto ha fraguado, generalmente a las doce horas después de haberse colado a una temperatura promedio de 25 grados centígrados ya podemos retirar los costados de cimbra. No es recomendable esperar demasiado tiempo (días) para limpiar las placas ya que el concreto cada día aumentará su resistencia y será más difícil limpiar las placas. En el caso de anclajes intermedios (sobre la losa) estos pueden ser descubiertos (no limpiados) una vez que el concreto ha fraguado a una temperatura ambiente de entre 20 y 30 grados centígrados durante unas 6 u 8 horas aproximadamente, después de haberse vaciado el concreto.

Es necesario descubrir y limpiar la parte interna de los anclajes activos para realizar el tensado, la limpieza se realiza retirando los moldes de plástico que los cubren, para lo cual es necesario demoler el concreto en el área donde se encuentra el molde de plástico. Descubierta el anclaje se procede a la limpieza interna de la placa. Debe descubrirse perfectamente la parte frontal de la placa y realizar una buena limpieza en el interior de la misma. La limpieza de los anclajes activos debe dar la seguridad de que no tendremos problemas en el tensado por una limpieza incorrecta.

#### **Procedimiento para la limpieza de anclajes activos**

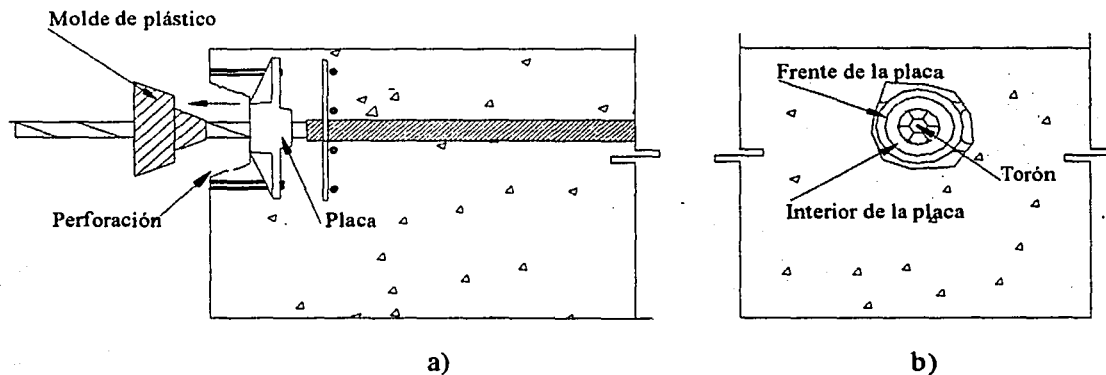
1. Retirar los costados cuando el concreto haya fraguado totalmente, en anclajes intermedios únicamente se tendrá que esperar a que el concreto haya fraguado.

- Demoler el concreto alrededor de los moldes de plástico que cubren los anclajes activos y retirarlos. Es necesario hacerlo en cuanto fragüe el concreto ya que en concretos de resistencia rápida en unas horas se logran resistencias que hacen difícil el descubrir los anclajes.
- Verificar que el anclaje no tenga ninguna señal de oquedad, es recomendable golpear alrededor del anclaje para verificar que no tenga huecos. Cualquier fisura o grieta puede ser indicio de una oquedad.

En caso de oquedad esta debe ser descubierta y si la placa sufre movimiento esta debe ajustarse perpendicular al cable. La oquedad debe ser cubierta con concreto o algún material que proporcione características similares al concreto colado.

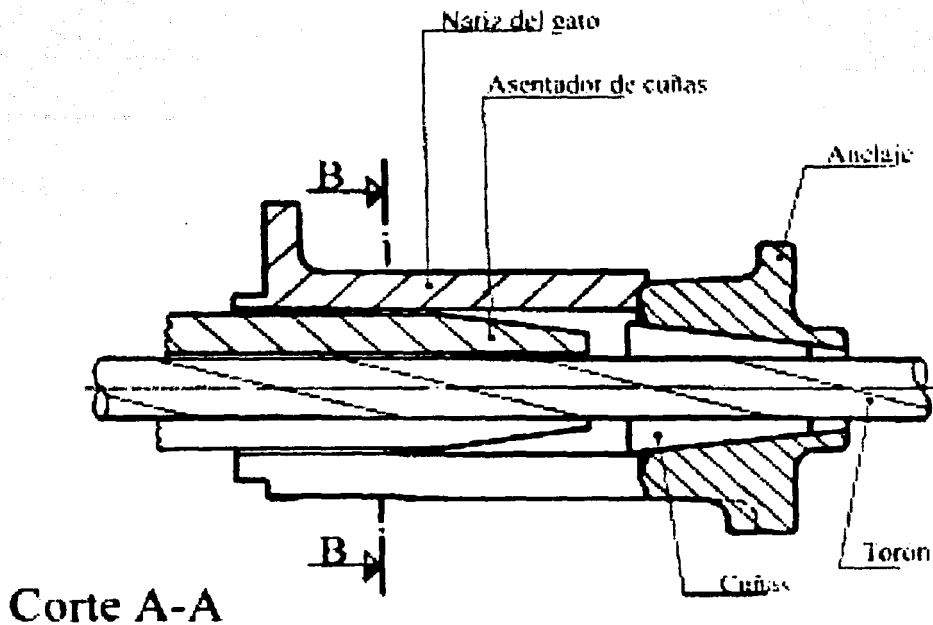
Cuando sea resanada alguna oquedad deberemos de esperar el tiempo necesario para que el material con que es rellenada adquiera la resistencia necesaria para tensar.

- Descubrir perfectamente la parte frontal de la placa, no debe haber concreto donde sentara la nariz del gato, de lo contrario el gato sentara girado, lo que ocasiona que el cable se doble en el anclaje, ocasionando una fricción que puede cortar el cable. En la figura 4.1.1 se muestra un esquema de limpieza en el anclaje.

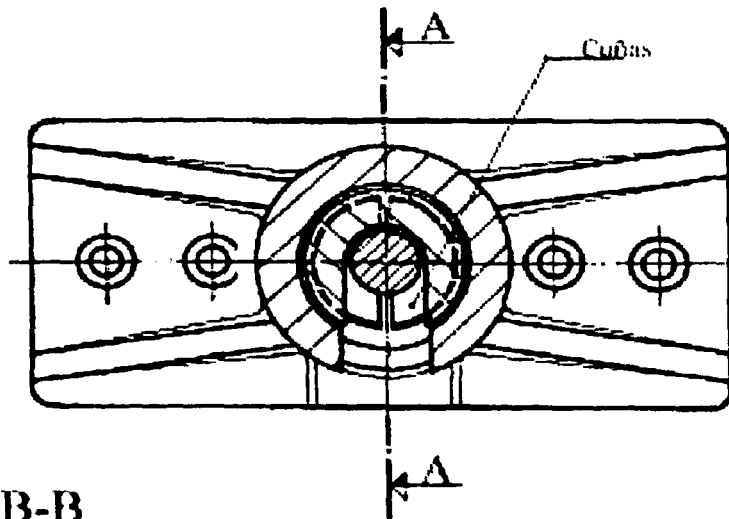


*Figura 4.1.1 Esquema de limpieza en el anclaje. El inciso a) muestra un corte longitudinal del anclaje, en el momento que se retira el molde de plástico. El inciso b) presenta una vista frontal del anclaje una vez que se ha retirado el molde de plástico.*

- Limpiar de grasa y concreto la parte interior de la placa donde se alojarán las cuñas. Si la parte interna de la placa se encuentra sucia el cable se regresa cuando se tensa debido a que las cuñas no logran penetrar en la placa, en cuyo caso se tendrán que retirar las cuñas para limpiar la placa.
- Introducir las cuñas mediante pequeños golpes dentro de la placa. La colocación de las cuñas deberá de ser de tal forma que la nariz del gato se pueda colocar según la figura 4.1.1.



Corte A-A



Corte B-B

*Figura 4.1.1 Ubicación correcta de la nariz con respecto de las cuñas una vez que el gato ha sido instalado en el anclaje activo. El corte A-A presenta un corte longitudinal de la nariz del gato una vez que ha sido colocado en el anclaje. El corte B-B muestra la sección transversal de la nariz del gato una vez que ha sido colocado en la placa*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se deberán de revisar las cuñas antes de introducirlas en la placa ya que de presentar deformaciones aparentes o alteraciones en el rayado que estará en contacto con el cable (parte interna de la cuña) se deberán reemplazar y desechar.

7. Colocar estopa o alguna protección en la placa donde se alojan las cuñas hasta el momento que se tense, para evitar que penetre material dentro de la placa.

Los moldes de plástico son reutilizables por lo que deberán de recuperarse todos aquellos que se encuentren en buenas condiciones, es decir, los que no permitan el paso de concreto en el anclaje.

## 4.2 TENSADO DE MONOTORÓN

El diseño de la estructura que se someterá a presfuerzo considera una fuerza de tensión en los torones, la cual será inducida mediante el tensado de los mismos por medio de una bomba y gato hidráulico. La presión ejercida por el equipo de tensado debe ser equivalente a la fuerza de tensado especificada por el diseño (ver capítulo 2.3).

Conocer las características del equipo que estamos empleando en la inducción de presfuerzo es de vital importancia para realizar un manejo adecuado del equipo, a continuación se mencionan algunas condiciones que en inicio deben ser conocidas por el personal que se encarga de los trabajos de tensado:

- Área de los pistones del gato
- Abertura del gato
- Posición de conexiones de las mangueras de la bomba en el gato
- Unidades de presión en el manómetro de la bomba (Psi, Bares,  $kg/cm^2$ )
- Capacidad de aceite de la bomba
- Tipo de aceite empleado por la bomba
- Válvulas de control en la bomba
- Corriente empleada por el equipo

De acuerdo con la fuerza de tensado, podemos calcular una deformación en el torón, de acuerdo con las características y normatividad aplicable (acero de alta resistencia). En el capítulo 2.2.2 se presenta el procedimiento de cálculo para las deformaciones teóricas para un torón, antes de aplicar las pérdidas de presfuerzo necesarias o correspondientes al sistema empleado.

El concreto al que se le suministrará presfuerzo debe alcanzar una resistencia de diseño mínima para la aplicación del presfuerzo, en la práctica generalmente es el 80% de la resistencia de diseño (equivalente a la resistencia efectiva del concreto que se emplea para el diseño  $f^*c=0.8f^c$ <sup>1</sup>), por lo que deben de realizarse las pruebas necesarias al concreto para obtener la resistencia en un periodo de tiempo determinado que generalmente depende del tipo de concreto empleado.

Para poder evaluar la resistencia de las losas del concreto se toman muestras de concreto en cilindros, estos se ensayan en el laboratorio cada 3, 7, 14 y 28 días dependiendo de los requerimientos del constructor ya que puede ser de resistencia rápida y la podemos obtener a 3 días o de resistencia normal con la cual la podemos obtener entre los 14 y 28 días. Se recomienda usar

---

<sup>1</sup> Información tomada de la bibliografía No. 11.



concretos de alta resistencia para poder presforzar una estructura, en la práctica se ha generalizado el uso de concretos en edificaciones con una resistencia de diseño de  $300 \text{ kg/cm}^2$ . En los planos de presfuerzo se especifica la resistencia del concreto para poder inducir el presfuerzo.

Si no se cumple con la resistencia proyectada para aplicar el presfuerzo según las especificaciones, no se podrá realizar el tensado y se tendrá que esperar el tiempo necesario para que el concreto obtenga la resistencia mínima. Si por alguna razón el concreto es afectado por condiciones ambientales en donde las pruebas realizadas a los cilindros no resulten confiables deberán de tomarse muestras del concreto colado en sitio para evaluar su resistencia.

Cuando el concreto ha obtenido la resistencia mínima de diseño para aplicar el presfuerzo de acuerdo con el certificado de las pruebas de laboratorio se procede a realizar el tensado, a continuación se describe el proceso mediante el cual se realiza el tensado.

### **Relación de trazos para tensar**

Para iniciar los trabajos de tensado se deberá de realizar una tabla con la relación definida de los trazos y cables que se tensaran, la longitud de cada cable a tensar (longitud de cable dentro del concreto), la deformación teórica esperada de acuerdo con la longitud de cada cable, tolerancia de la deformación teórica calculada para cada cable (ver capítulo 2.4). En esta tabla también se anotará la distancia de la marca antes de tensar y después de realizar el tensado para el cálculo de la deformación, obtenida después de inducir el presfuerzo en cada uno de los cables.

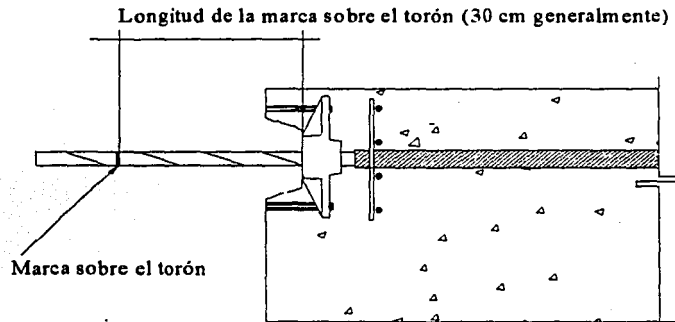
La información contenida en esta tabla es importante ya que servirá de guía para saber el comportamiento del acero de presfuerzo ante el tensado. Mediante esta información podemos saber si se están obteniendo las deformaciones dentro de la tolerancias establecidas, lo que nos indicaría que se está aplicando correctamente el presfuerzo.

#### **4.2.1 REVISIÓN E INSTALACIÓN DE EQUIPO DE TENSADO**

- a) Se revisa el nivel de aceite en el equipo de tensado
- b) No debe de existir ninguna pieza faltante en el equipo
- c) El equipo debe de estar limpio, especialmente en las mordazas (cuñas)
- d) La extensión de corriente empleada debe de ser de cables del No. 12
- e) Conectar a la corriente 110 V o 220 V
- f) Instalar el manómetro en la bomba, verificar unidades de presión
- g) Conectar las mangueras de presión de la bomba al gato
- h) Asegurar las mangueras de presión mediante los mecanismos de seguridad del equipo
- i) El equipo se debe sujetar mediante una cuerda a un elemento fijo

## 4.2.2 MARCADO DE CABLES PARA TENSADO

- j) Se retira la manguera que cubre la punta del cable y se limpia la grasa, al menos en la longitud que será necesaria para marcar el cable y para que el gato amordace el cable.
- k) Realizar una marca de referencia en el cable para determinar después de realizar el tensado la deformación en el torón. Esta marca estará situada a una distancia medida a partir de la parte frontal de la placa donde sentará el gato, esta longitud debe garantizar que no sufrirá alteraciones la marca durante el proceso de tensado, generalmente 30 cm son suficientes, ya que cuando se tensa las mordazas del gato marcan el cable y existe la posibilidad de que la marca de referencia se pierda. La marca debe realizarse de manera que permanezca en el cable en el caso de una posterior revisión de alargamientos. Debe de registrarse la distancia a la que se realiza la marca de cada cable para el análisis de las deformaciones. En la figura 4.2.2.1 se muestra la localización de la marca sobre el cable antes de tensar.



*Figura 4.2.2.1 Localización de la marca sobre el cable antes de tensar.*

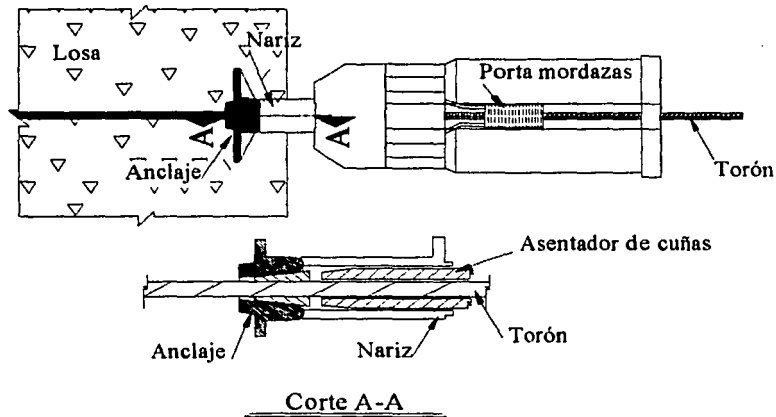
Hay que tener especial cuidado en medir la distancia de la marca, ya que ésta debe ser lo más precisa posible, se debe de garantizar una precisión de  $\pm 3$  mm. El realizar correctamente la marca en el cable representa la confiabilidad de los resultados obtenidos, de acuerdo con las deformaciones después de tensar. Así que la marca debe de realizarse por medio de algún material u objeto que garantice la mayor precisión posible y la permanencia de la marca. La marca puede ser llevada a cabo friccionando algún material sobre el cable (segueta), con lo que se garantiza la precisión de la marca y la permanencia de la misma.

## 4.2.3 PROCEDIMIENTO DE TENSADO DE CABLES

Las mangueras de conexión de la bomba con el gato no deben de estar enredadas durante el desarrollo de todos los trabajos de tensado, deberán de verificarse continuamente que las conexiones de las mangueras en los equipos no estén flojas.

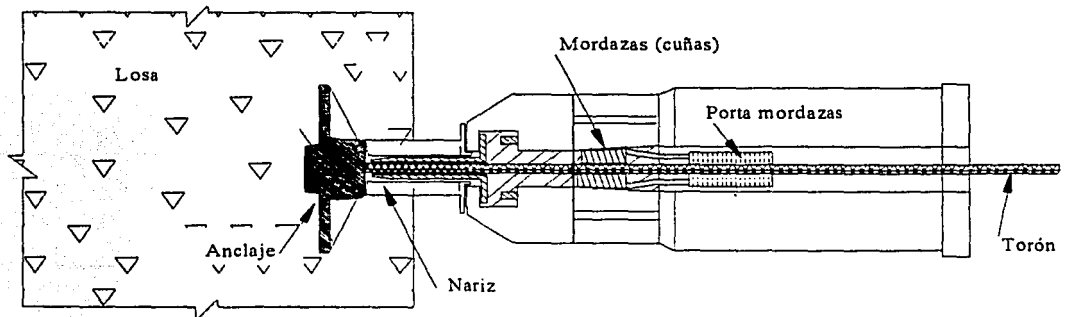
- l) Encender el motor de la bomba mediante el interruptor de control, no usar el interruptor general del motor en la medida de lo posible.

- m) Colocar el gato en el cable, el cable debe de estar dentro de la línea de las mordazas del gato. Empujar el gato hacia el anclaje para que la nariz sienta en la parte frontal de la placa. En la figura 4.2.3.1 se muestra la colocación del gato en un anclaje. En la figura 4.1.1 (localizada en la página 74) se muestra la colocación de la nariz del gato en la placa con respecto de las cuñas, esto para garantizar un correcto anclaje del cable



*Figura 4.2.3.1 Instalación del gato en el anclaje para tensar el cable.*

- n) Mover las mordazas del gato hacia adelante y mantenerlas en esa posición, hasta que el gato abra y sujete el cable. Si cuando un cable está siendo tensado se resbala de las mordazas (cuñas) que lo sujetan en el gato, es debido a que las mordazas no lo pueden sujetar, así que deberán de reemplazarse inmediatamente. En la figura 4.2.3.2 se muestra un esquema de como las mordazas del gato sujetan al cable.



*Figura 4.2.3.2 Esquema de sujeción del gato en el cable.*

- o) Colocar la válvula en posición para dar presión al gato y hacer funcionar la bomba. El gato sólo puede abrir cierta longitud (alrededor de 20 cm) por lo que se deberá de tener cuidado de no abrir el gato a más de su capacidad de abertura.
- p) Tomar la lectura de presión en el manómetro, hasta obtener la presión de diseño, no proporcionar mayor presión que la de diseño. En ocasiones la deformación esperada para un cable, de acuerdo con la presión de diseño, no puede ser obtenida mediante una abertura del gato, así que la presión se obtendrá en “dos pasos”: habrá que repetir el procedimiento de tensado.
- q) Colocamos la válvula en posición para liberar presión y hacemos funcionar la bomba, esta presión hace que el mecanismo en la parte frontal del gato (en la nariz) introduzca las cuñas dentro de la placa para que el cable se ancle.

No debe seguirse aplicando esta presión una vez que el gato ha cerrado completamente. Cuando se interrumpa el tensado deberá de colocarse la válvula de presión en posición neutra.

En el caso de que se tengan cables con dos anclajes activos, el procedimiento será realizado en ambos anclajes, este procedimiento se conoce como *nivelar presión*. Los anclajes deberán ser tensados uno a la vez, en estos casos deberá de verificarse que al momento de inducir el presfuerzo en el primer anclaje en el osegundo se deslicen las cuñas hacia adentro amordazando el cable, esto también se puede observar en la bomba por que la presión no aumentara aún cuando el gato sigue abriendo, en este caso deberán de golpearse las cuñas con una herramienta en el extremo que no está siendo tensado a fin de que las cuñas penetren y amordacen el cable.

La secuencia de tensado del torón se indica en los planos de presfuerzo, de no indicarse secuencia alguna de tensado esta deberá de ser de tal forma que se induzca la menor excentricidad posible de presfuerzo en el elemento.

Una vez que el cable ha sido tensado el cable se deberá cubrir con pintura anticorrosiva, para evitar oxidación excesiva, en el tiempo que se revisa y autoriza el corte de las puntas de los cables tensados.

#### **4.2.4 REGISTRO DE ALARGAMIENTOS**

- r) Una vez tensados los cables, se medirá la distancia de la placa a la marca realizada en el cable antes de tensar, la cual será registrada en una tabla de acuerdo con el trazo y cable tensado.

Después de medida la deformación de los cables colocar la manguera que cubría la punta del cable, ya que las puntas pueden ser peligrosas para los trabajadores y una manera de verlas fácilmente es con la manguera en el cable.

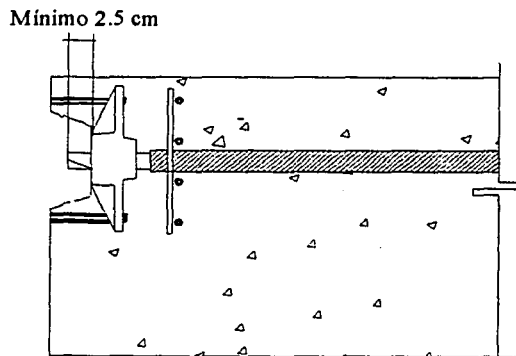
- s) A la longitud de la marca después de tensado el cable se le resta la distancia de la marca registrada antes de tensar el cable, para obtener la longitud de deformación.

La deformación obtenida debe ser  $\pm 7\%$  con respecto a la deformación teórica esperada, obtenida a partir de la fuerza aplicada menos las pérdidas de presfuerzo esperadas, según los cálculos para cada trazo en particular.

Generalmente en trazos de entre 20 y 30 metros con dos parábolas como máximo, las pérdidas de presfuerzo no se ven reflejadas en los alargamientos obtenidos después de tensar, por lo que es suficiente inicialmente calcular la deformación teórica a partir de la fuerza aplicada antes de las pérdidas de presfuerzo, y entonces a esta deformación aplicar la tolerancia de  $\pm 7\%$ . Generalmente se cumple con dicha tolerancia por lo que comúnmente sólo se calculan las deformaciones antes de las pérdidas de presfuerzo, y en caso de que alguno de los cables no estuviese dentro de la tolerancia se calculan las pérdidas de presfuerzo esperadas para obtener la deformación teórica real, y entonces hacer la comparación de la deformación obtenida después de tensar.

### 4.3 TERMINADO DE CABLES

- u) La información de tensado de cables deberá de ser revisada por un ingeniero supervisor o el departamento de ingeniería para certificar que la fuerza inducida al presfuerzo es la establecida por el diseño. Lo anterior se logra revisando los alargamientos de los cables de presfuerzo y las pérdidas correspondiente en su caso, esto para cada cable en particular.
- v) Una vez que la información ha sido revisada, se deberá de emitir la autorización para cortar las puntas de los cables ya tensados y revisados, el corte del cable debe ser de tal manera que se garantice un mínimo 2.5 cm de cable después de la placa. En la figura 2.3.1 se muestra el detalle de un cable cortado.



*Figura 4.3.1 Corte de punta de un cable una vez que ha sido aprobado su presfuerzo.*

- w) Cubrir nuevamente con pintura anticorrosiva el anclaje.
- x) Resanar las perforaciones donde se encuentran los anclajes activos mediante una mezcla de mortero o grout que proporcione un recubrimiento aceptable al acero de presfuerzo.

Se debe tener especial cuidado en el recubrimiento de los anclajes, ya que un recubrimiento pobre en los anclajes es una causa predominante en la falla de cables de presfuerzo, debido a la corrosión en el acero de presfuerzo.

#### **4.4 CONTROL DE RESULTADOS**

El control de documentos que soporte todos los trabajos realizados en la aplicación del sistema es muy importante para corroborar que los trabajos se están realizando adecuadamente, por ejemplo, se nos debe proporcionar una constancia por parte del laboratorio que realiza las pruebas donde se acredite la resistencia de los cilindros, también debemos tener un control de los registros de alargamientos (deformaciones obtenidas en los cables), un registro de autorización de corte de puntas de cables tensados, etc. En general toda la información generada por la instalación del presfuerzo deberá de conservarse en un archivo.

Existen documentos que juegan un papel importante en la construcción de cualquier proyecto en donde se suministre el sistema de postensado no adherido, la disponibilidad, preservación y control de estos documentos ayudara a evitar problemas en la instalación y en tensado de los cables. Los documentos pertinentes son: planos ejecutivos. Lista de embarque, certificado de los materiales, certificado de calibración del equipo de tensado, constancias de resistencias de concreto y control de tensado.

Las hojas de control de tensado deberán de estar disponibles para el uso de las cuadrillas de tensado y de los supervisores durante las operaciones de tensado. Las hojas de tensado deberán conservarse para su verificación y aprobación antes de cortar las puntas de los cables.

#### **4.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD DURANTE EL TENSADO**

El tensado implica el uso de fuerzas muy altas, con el acero y el concreto trabajando a esfuerzos que llegan a porcentajes muy altos de su carga última, los tendones pueden estar bajo fuerzas de más de 15 toneladas, lo cual representa un importante almacenamiento de energía, que puede convertir a un anclaje en un proyectil mortal.

Es de vital importancia la seguridad que se aplique al momento de estar llevando a cabo los trabajos de tensado, de tal forma que deben procurarse las siguientes recomendaciones :

- a) El personal encargado de los trabajos de tensado deben de contar con todo el equipo necesario que garantice su seguridad, el equipo que debe ser empleado es mencionado en el capítulo 3.6.
- b) Antes de aplicar el tensado debe darse una señal visible y audible, haciendo que todo el personal que no intervenga directamente en el tensado abandone el área inmediata.
- c) No debe permitirse que el personal se pare en línea directa con el tendón que está siendo tensado.
- d) El personal no debe pararse sobre los tendones que están siendo tensados.
- e) El gato y la bomba debe de ser sujetados a un objeto fijo para que en caso de falla de algún cable estos no salgan disparados.

- f) No se permita ningún tipo de soldadura cerca ni conexiones a tierra en el acero de presfuerzo.
- g) Mantenga todo el equipo limpio y en condiciones de trabajo.
- h) Debe procurarse tener en sitio un manual del equipo, el cual consiste en las recomendaciones en cuanto al manejo y donde se detallan las distintas partes del equipo utilizado. No debe emplearse un equipo que no cuente con todos sus accesorios.
- i) La revisión regular de las mangueras hidráulicas es esencial, ya que debe de tenerse el cuidado de que éstas no se aflojen o desconecten y que no se enreden durante el manejo del equipo.
- j) No golpear el gato cuando la carga está aplicada.

## CONCLUSIONES.

El concreto es un material de cualidades excelentes a la compresión pero que sin el cuidado y supervisión adecuada éstas pueden ser fácilmente alteradas, ya sea durante su producción o colocación, por lo que es de especial importancia supervisar y establecer un control para obtener un concreto de buena calidad.

El acero de refuerzo ya sea "convencional" o de alta resistencia posee características de tensión que complementa de forma extraordinaria el trabajo del concreto simple. Así, lo que llamamos concreto reforzado es y será por muchos años uno de los materiales más versátiles por lograr con él formas, diseños seguros y eficientes. La combinación del concreto reforzado con el acero de alta resistencia tensado, llamado entonces concreto presforzado, es un material que eleva la calidad del comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto y del acero, por lo que su eficiencia aumenta, con lo que logramos su mayor aprovechamiento

Se debiera tener especial cuidado en el manejo de todos los componentes del sistema de presfuerzo que se emplee para la construcción de losas y traveses en sistemas de piso en edificaciones ya que cualquier daño en estos materiales como puede ser en el torón, placas o incluso en las cuñas, puede representar la pérdida del cable cuando se este realizando el tensado.

El tensado de cables de presfuerzo es un procedimiento importante ya que con éste se concreta todo el trabajo de instalación que se ha llevado a cabo, así que deberá de ejecutarse por personal con la experiencia necesaria para garantizar una correcta inducción del presfuerzo, que se realizará con las más altas mediadas de seguridad, así se garantizará la integridad física tanto de la estructura como del personal que se encuentra a cargo tanto del procedimiento de tensado y del personal que labora en las inmediaciones del área de tensado.

La instalación del sistema de presfuerzo que se emplee para sistemas de piso en edificaciones de concreto deberá de tener un antecedente por parte del personal que se encargue de la supervisión e instalación, ya que la instalación de cualquier sistema está basado en el funcionamiento mecánico de los diferentes elementos donde se instalará el sistema. El conocer bajo que funcionamiento está fundamentado el trabajo del concreto postensado redundará en la correcta toma de decisiones durante el proceso de instalación. Generalmente, ocurren situaciones no previstas y que tienen que resolverse en el momento, ya que el avance de la obra se confiere a esta disciplina por ser una de las últimas en entrar a trabajar sobre cualquier elemento (trabe o losa), así que será de vital importancia el poder tomar las decisiones con certeza y rapidez.

El procedimiento de instalación del sistema de presfuerzo tipo postensado en losas provee características que favorecen una estructura segura, ligera, eficiente y económica, aunque sin la aplicación de la normatividad vigente es fácil de alterarse éstas cualidades y entonces resultará de la instalación del sistema todo lo contrario.

Hay que tener el conocimiento de que el concreto y acero de alta resistencia en los sistemas de piso de las edificaciones, son los principales responsables de que el piso o losa trabaje y soporte en forma eficiente las fuerzas a que estará sujeta por las cargas que se sobre ella actúan, y a las que estará expuesto durante su vida, así que cualquier situación en la que se tenga la no seguridad de la instalación deberá de consultarse para su verificación. En las situaciones donde se tenga que detener



el avance de la obra para poder, ya sea instalar correctamente el sistema de presfuerzo y/o revisar que la instalación es correcta, se tendrá que hacer para garantizar la seguridad de la estructura.

La aplicación correcta de medidas de seguridad que garanticen el menor riesgo posible para el personal que se encarga de instalar y tensar el acero de presfuerzo es de vital importancia para garantizar la ejecución de los trabajos. La seguridad no debe de someterse a un segundo plano, debe de conservarse a la par de una buena ejecución de los trabajos, ya que cualquier accidente puede representar graves consecuencias.

Existen otros procedimientos, por ejemplo en estados Unidos, que se enfocan principalmente a losas planas, así que este trabajo está realizado con la finalidad de proveer un procedimiento para losas nervadas y trabes principalmente, sin dejar de lado la instalación en losas planas que también se aborda en este trabajo.

## APÉNDICE

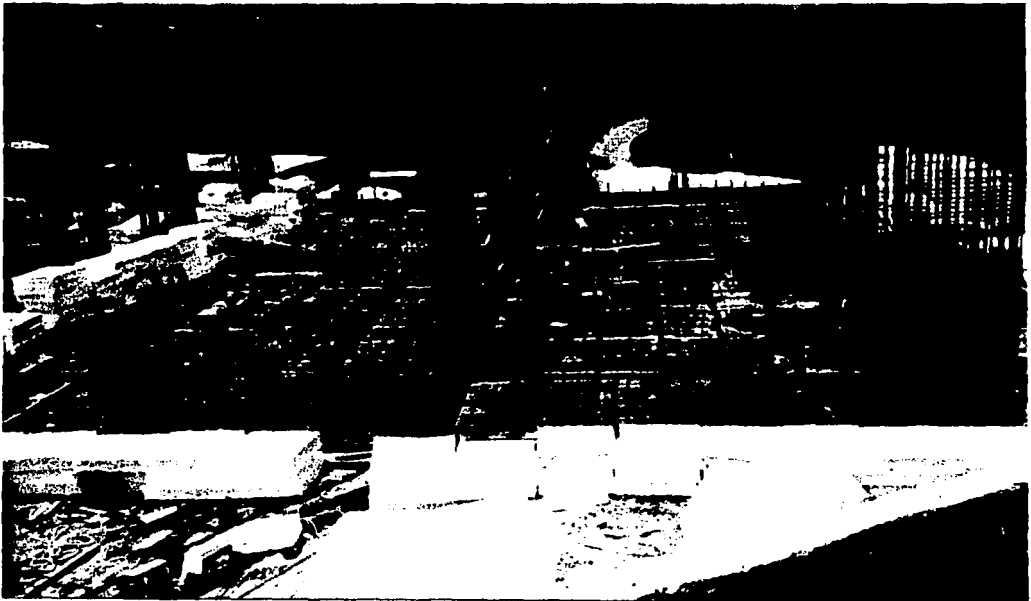
1. Fotografías de instalación y tensado de cables de presfuerzo tipo monotorón no adheridos, colocados en un sistema de piso de concreto a base de traveses y nervaduras (losa aligerada), en un edificio de departamentos con 22 niveles, ubicado en el Club de Golf Lomas Country, en Interlomas Estado de México.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

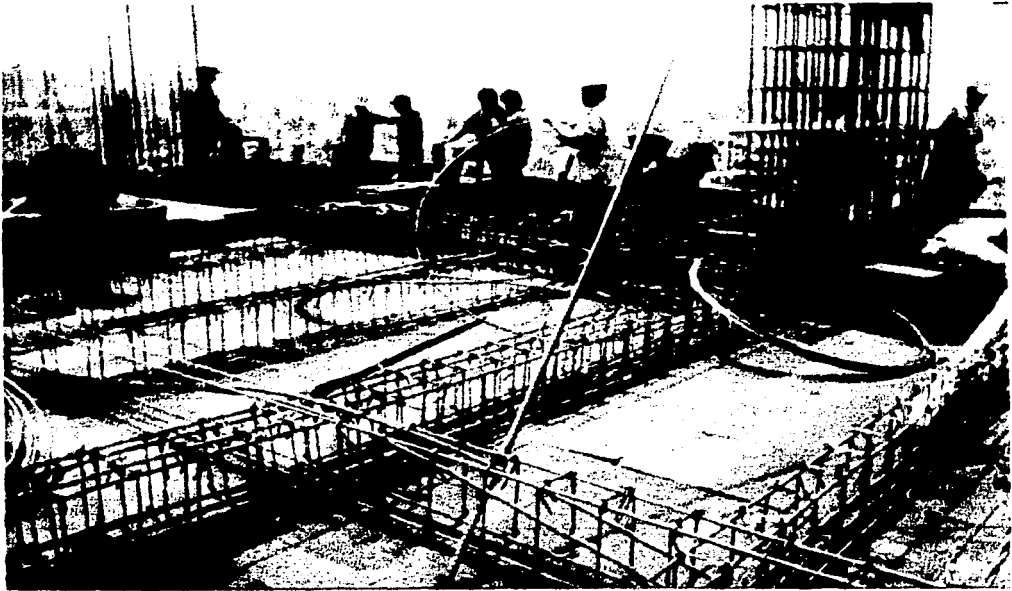


*A.1 Inicio de colado de losas.*



*A.2 Instalación de presfuerzo en una losa nervada en dos direcciones.*

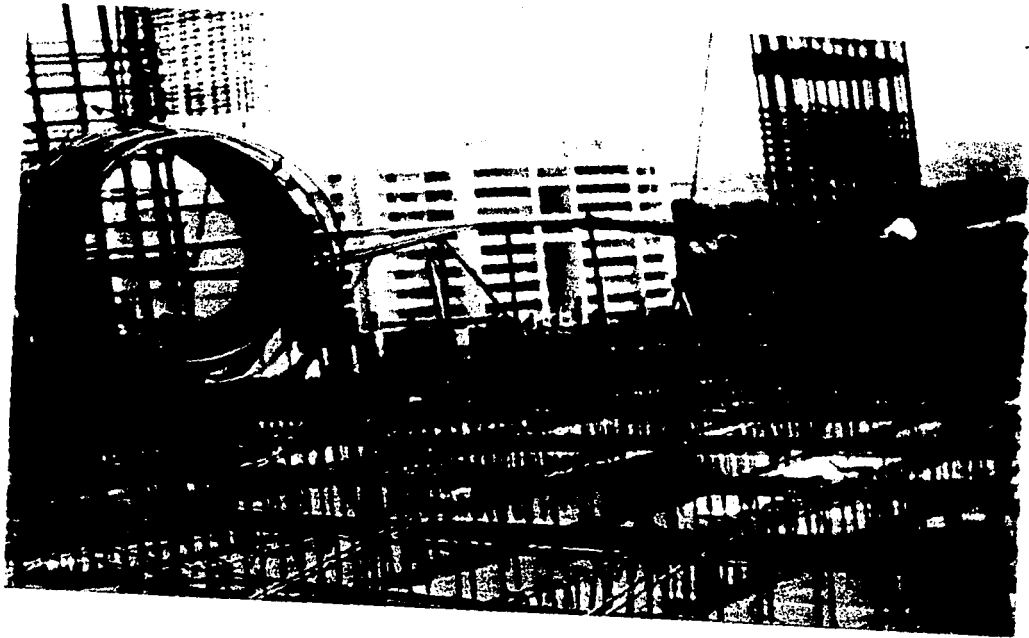
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



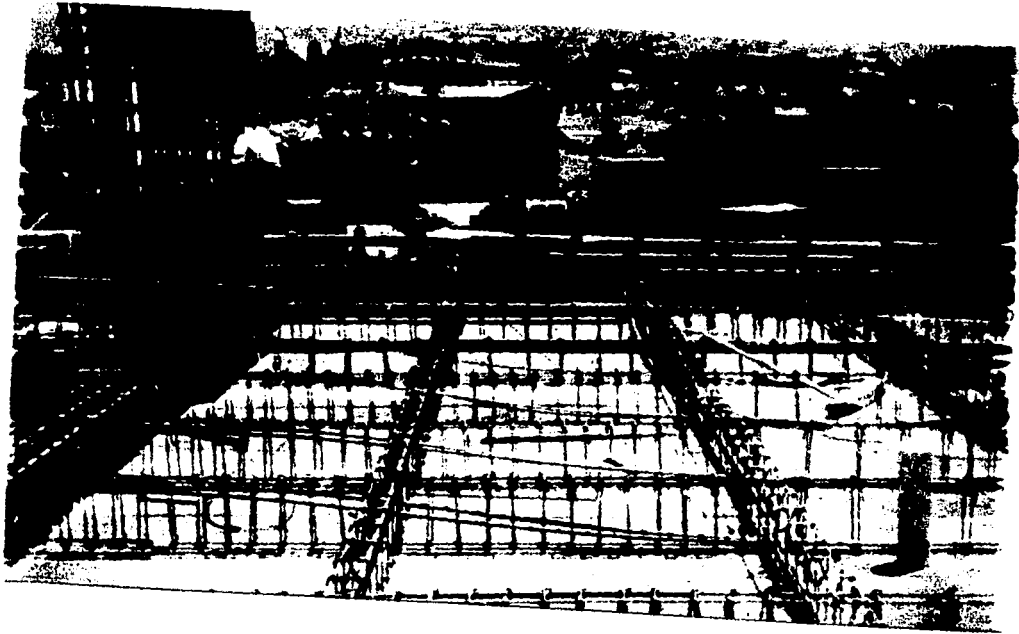
*A.3 Introducción de cables de presfuerzo.*



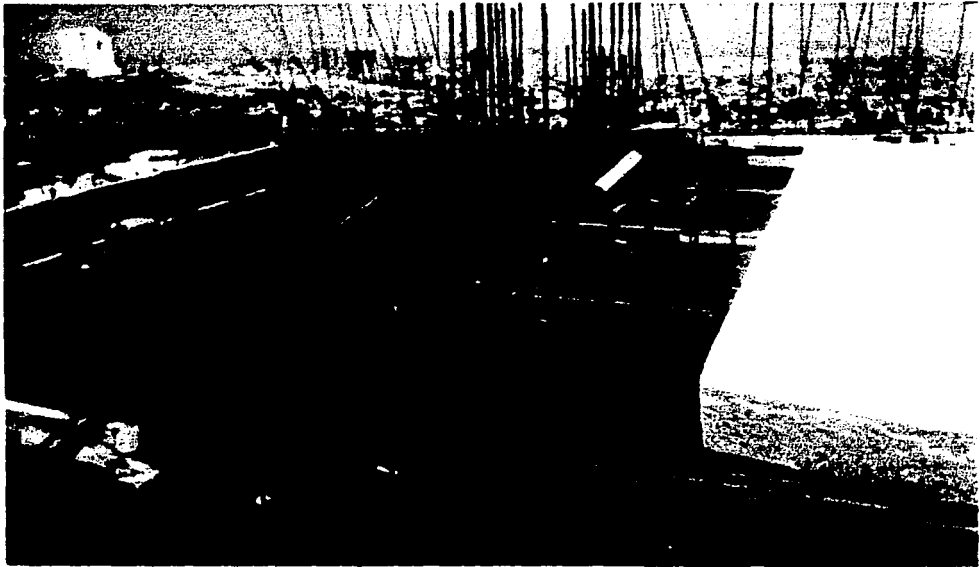
*A.4 Se guía la dirección del cable de presfuerzo.*



*A.5 Presfuerzo instalado.*



*A.6 Trayectoria del cable de presfuerzo.*



*A.7 Cable de presfuerzo totalmente instalado y fijado.*



*A.8 Anclaje pasivo fijo y acero de refuerzo colocado.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



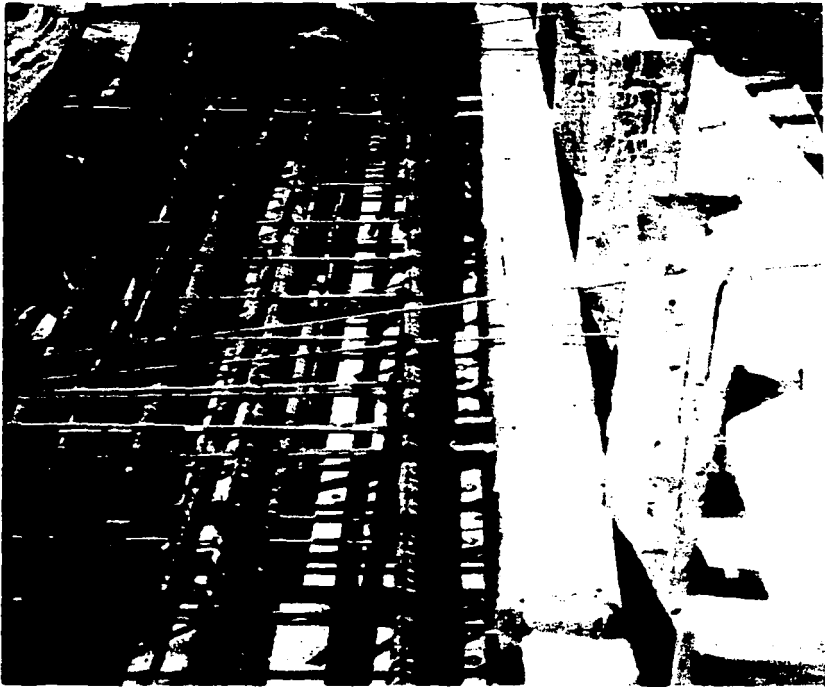
*A.9 Salida de cables intermedios.*



*A.10 Anclaje activo intermedio y anclaje pasivo de continuidad.*

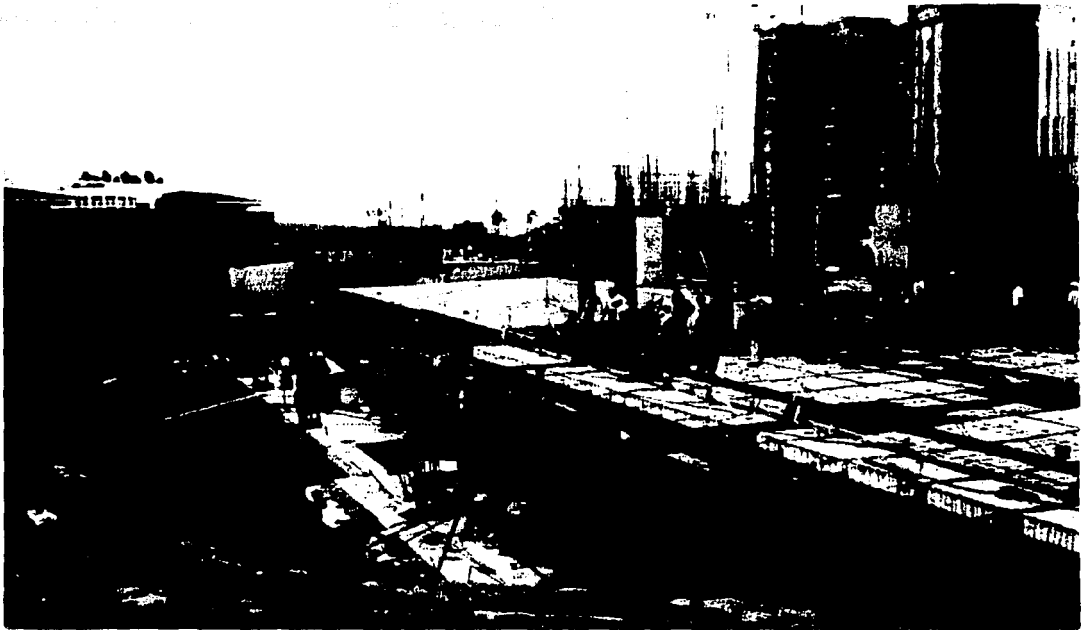


*A.11 Anclaje activo intermedio instalado.*



*A.12 Anclaje activo recto instalado.*

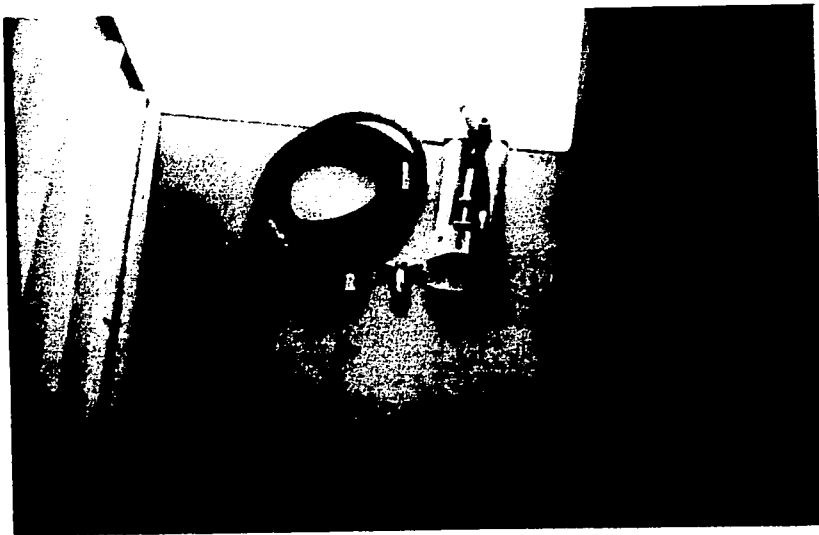




*A.13 Colado de losa con cables de continuidad.*



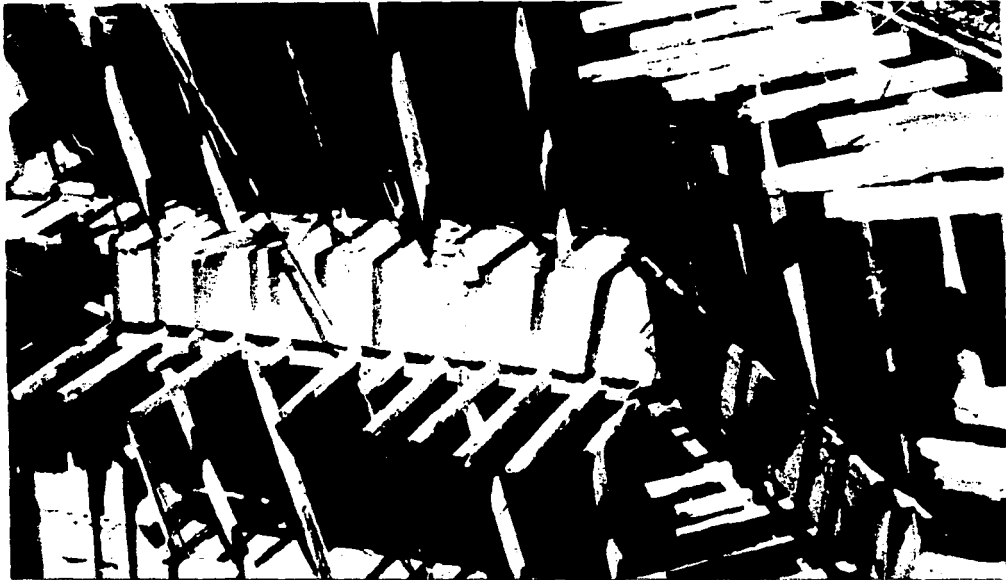
*A.14 Equipo de tensado: bomba y gato hidráulico.*



*A.15 Gato hidráulico con mangueras y nariz desconectadas.*



*A.16 Vista posterior del gato hidráulico.*



*A.17 Anclajes activos rectos en el borde de la losa.*



*A.18 Instalación de gato en anclajes activos intermedios para ser tensados.*



*A.19 Vista posterior del gato en un anclaje activo intermedio para ser tensado.*



*A.20 Colocación del gato en un anclaje activo recto para ser tensado.*

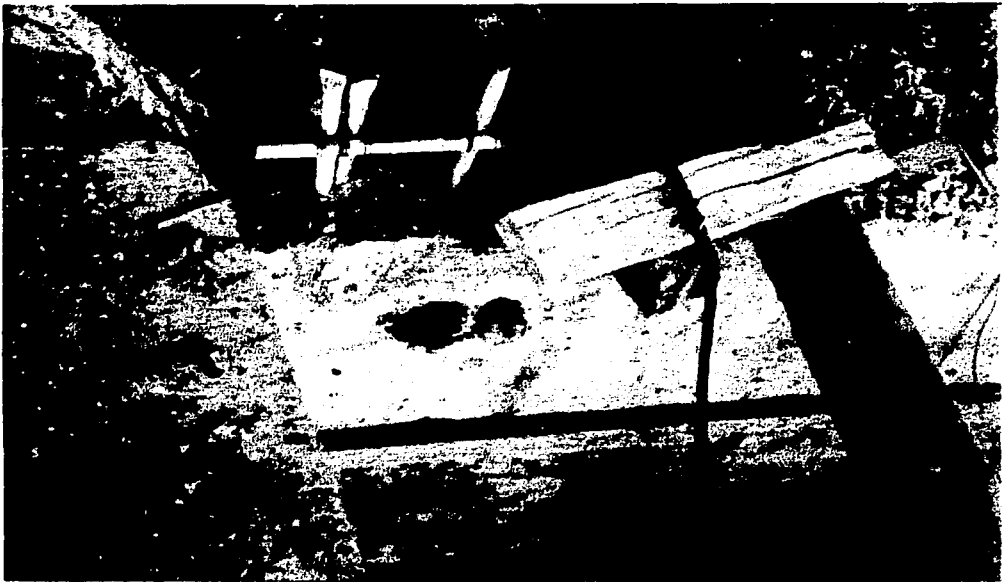


*A.21 Tensado de cables en el vacío.*

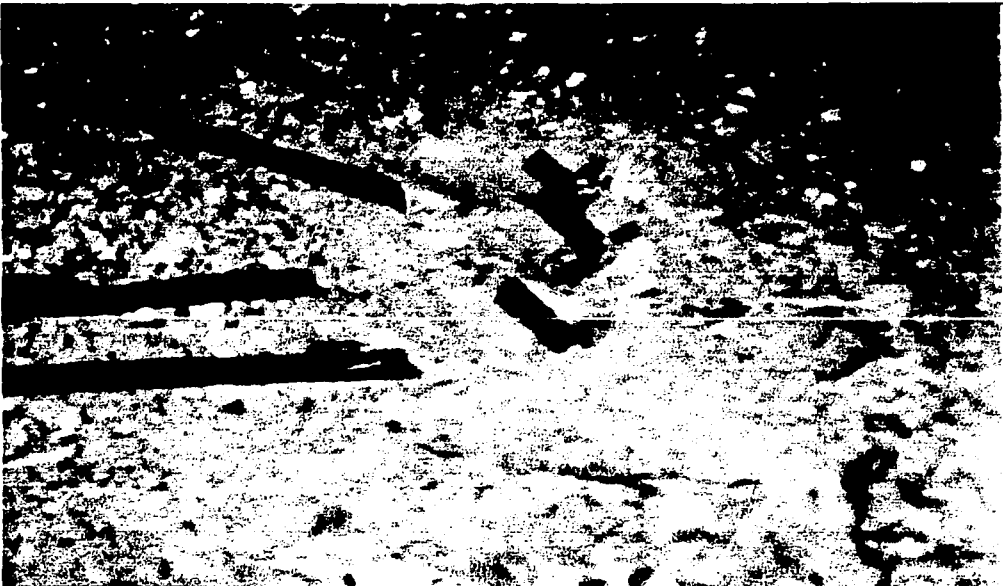


*A.22 Anclajes activos rectos tensados.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



*A.24 Cables activos rectos cortados.*



*A.25 Cables en anclajes activos intermedios cortados.*

## GLOSARIO.

**Acero de presfuerzo:** Acero de alta resistencia usada en concreto postensado. Para cables no adheridos es de uso exclusivo los cables de 7 alambres, según la norma ASTM-416.

**Anclaje :** Es el dispositivo para anclar los cables de acero de presfuerzo al elemento de concreto.

**Anclaje recto:** Es aquel anclaje activo que sale en los paños o costados del elemento estructural. El cable no es forzado con ninguna trayectoria para lograr su salida.

**Anclaje a 45:** Es aquel anclaje activo que se localiza en la superficie de una losa o trabe. El cable es forzado con una trayectoria hacia arriba para poder salir en el anclaje.

**Bomba hidráulica:** equipo empleado para suministrar una presión hidráulica a un gato. La presión es medida por medio de un manómetro instalado en la bomba.

**Cables no adheridos:** Son los cables en los cuales el acero de presfuerzo estará permanentemente libre de movimientos relativos al concreto.

**Esfuerzo de compresión:** Es la fuerza de compresión aplicada en una área o sección determinada, expresada mediante un diagrama que establece los valores de ese esfuerzo en dicha sección.

**Esfuerzo de tensión:** Es la fuerza de tensión aplicada en una área o sección determinada, expresada mediante un diagrama que establece los valores de ese esfuerzo en una sección determinada.

**Fuerza cortante:** Es la suma de las fuerzas verticales que actúan sobre un elemento, en este caso sobre una trabes. Su efecto tiende a deslizar entre si una sección respecto a la otra, en la dirección perpendicular al eje longitudinal.

**Gato hidráulico:** Es el equipo encargado de suministrar directamente el presfuerzo a los cables por medio de la presión que le suministra una bomba hidráulica.

**Grasa:** Grasa o lubricante usado para evitar la corrosión del acero de presfuerzo.

**Grout:** Material cementante el cual posee propiedades de resistencia rápida y de estabilizador de volumen. Es un material de resistencia rápida que es generalmente usado para resanar perforaciones, el cual no necesita ser mezclado con otros materiales sólo con agua para desarrollar su máxima capacidad de adherencia y resistencia.

**Manguera o ducto:** Es el ducto que cubre a todo lo largo el acero de presfuerzo. Previene la adherencia entre el acero y el concreto. En el caso de tendones que van a permanecer no adheridos, para proteger el acero se coloca un material anticorrosivo sobre el, proporcionándole impermeabilidad.

**Manómetro:** Medidor de presión hidráulica suministrada por la bomba hidráulica al gato hidráulico, las unidades de presión en que registra las lecturas pueden ser  $kg/cm^2$ , Psi, Bares, etc.

**Módulo de elasticidad:** Denotado por E. En materiales elásticos, la proporción matemática esfuerzo/deformación, cuanto más alto el módulo de elasticidad, menor la deformación elástica.

**Molde plástico.** Dispositivo temporal de plástico usado en los anclajes durante el colado del concreto. Para proporcionar un hueco en el concreto para dar acceso al equipo de tensado.

**Momento flexionante:** Es la suma de las fuerzas que actúan sobre un elemento, estas fuerzas tienden a flexionar en un sentido, de manera que las fibras en un extremo estén bajo tensión y en otro estén bajo compresión.

**Mordazas:** Sistema del gato integrada por dos cuñas fijas a un mango deslizante (porta mordazas) que se encarga de sujetar el cable para que el cable pueda ser tensado.

**Porta mordazas:** Mango deslizante al que se encuentran fijas las mordazas que sujetan al cable, este porta mordazas está sujeto al gato.

**Relajación de esfuerzos:** Es el flujo plástico irreversible en el acero. Que se presenta bajo esfuerzos altos y sostenidos; como su nombre la indica, conduce a una reducción en el grado de esfuerzo en el tendón, disminuyendo el presfuerzo en el concreto.

**Tendón:** Término genérico para las varillas, alambres, torones, o cables de alta resistencia usados en concreto presforzado.

**Torón:** Tendón producido al entrelazar varios alambres de alta resistencia. Que puede ser colocado dentro de una funda (manguera) con grasa o sin ningún tipo de recubrimiento en cuyo caso será un torón extruido.

**Torón fallado:** Es aquel torón que se ha roto en el anclaje activo o que se desprendido de su anclaje pasivo.

**Traza:** Proyección o trayectoria del tendón sobre el elemento donde se instalara, localizado en los planos de instalación de presfuerzo



## BIBLIOGRAFÍA

1. Aalami Bijan O. and Bommer Allan.  
Dising fundamentals of Post-tensioned Concrete Floors.  
Post-Tensioning Institute (PTI), USA.  
Primer impresión 1999 .
2. ACI 318-95 building code requirements for structural concrete.  
American Concrete Institute (ACI).  
USA, 1995.
3. Diseño de losas postensadas.  
Post-Tensioning Institute. IMCYC.  
Editorial Limusa.  
México, tercera impresión 1989.
4. Gerwick Ben C.  
Construcción de estructuras de concreto presforzado.  
Editorial Limusa.  
México, primera edición 1978.
5. Gerwick Ben C.  
Construction of prestressed Concrete Structures  
Editorial Jonh Wilcy & Sons.  
USA, segunda edición 1993.
6. Gikas Steven.  
Principles of Postensioning  
VSL Structural  
USA.
7. Lizarraga Ignacio M.  
Estructuras isostaticas.  
Mc Graw-Hill.  
México, primera edición 1990.
8. Manual de presfuerzo.  
Instituto de Ingenieria, UNAM, ANIPPAC.  
México, primera edición 1999.
9. Navwy Edward G.  
Concreto reforzado.  
Prentice-Hall.  
México, primera edición 1988.
10. Normas Técnicas Complementarias para el Distrito Federal.  
Gaceta oficial del Distrito Federal, 1995.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

11. T.Y. Lin.

Diseño de estructuras de concreto presforzado.

Compañía editorial continental.

México, cuarta impresión, 1976.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN