



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**“PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO  
DEL PUENTE VEHICULAR  
EMILIANO ZAPATA-CALZ. DE TLALPAN”**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO CIVIL**

P r e s e n t a :

**JOEL JAVIER CHAVEZ REBOLLO**

---

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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

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

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

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

## INDICE

### CAPITULO I.

1.1 INTRODUCCION.	1
-------------------	---

### CAPITULO II. ESTUDIOS PRELIMINARES.

2.1 DESCRIPCION.	4
2.2 CLASIFICACION.	5
2.3 OBTENCION DE DATOS OPERACIONALES.	5
2.4 ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS.	6
2.5 ESTUDIOS TOPOGRAFICOS DE LA ZONA.	8
2.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCION.	9

### CAPITULO III. DESCRIPCION DEL PROYECTO.

3.1 OBJETIVO DE LA OBRA.	14
3.2 GENERALIDADES DEL PROYECTO.	14

### CAPITULO IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA.

4.1 INTERFERENCIAS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACION.	23
4.2 FABRICACION E HIZADO DE PILOTES.	24
4.3 PROCESO DE HINCADO.	27
4.4 ZAPATAS DE CIMENTACION.	29
4.5 EXCAVACION PARA LA CIMENTACION.	30
4.6 RAMPAS DE ACCESO Y MURO ESTRIBO.	32
4.7 PROCEDIMIENTO DE MUROS DE ACCESO Y ESTRIBOS.	34

<b>CAPITULO V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA.</b>	
5.1 DESCRIPCION DE LA SUPERESTRUCTURA. ....	36
5.2 CONDICIONANTES Y FORMA DE LA SUPERESTRUCTURA .	37
5.3 COLUMNAS. ....	39
5.4 TRABES. ....	43
5.5 CONCEPTO DEL PRETENSADO. ....	44
5.6 METODO GENERAL DEL PRESFUERZO. ....	44
5.7 DESCRIPCION DEL METODO DE PRETENSADO. ....	47
5.8 DETALLES DE UNION ENTRE CABEZALES. ....	50
5.9 LOSA SOBRE TRABES. ....	52
<b>CAPITULO VI. BASES, SUBBASES Y REVESTIMIENTOS.</b>	
6.1 OBTENCION DE MATERIALES. ....	54
6.2 PROCEDIMIENTO DE COLOCACION Y ESPECIFICACIONES.	54
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.</b> .....	<b>60</b>

## CAPITULO I

### 1.1 INTRODUCCION.

En los últimos años el crecimiento de la población en el Distrito Federal ha originado día con día un mayor flujo vehicular que trae como consecuencia la necesidad de incrementar la infraestructura vial para agilizar el tránsito en la Ciudad.

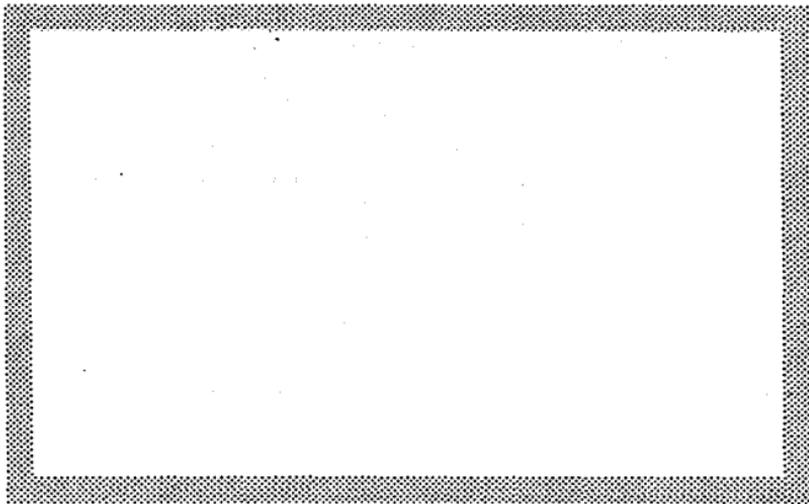
Con esta idea las autoridades del sector público crearon en diciembre de 1985 la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, en ella se trata de hacer compatible el crecimiento del flujo vehicular con la infraestructura vial por medio de la construcción de los puentes gemelos a través de Calzada de Tlalpan; en esta presentación se describirá el procedimiento constructivo utilizado para realizar uno de los puentes gemelos que es el PUNTE VEHICULAR DE LA AVENIDA EMILIANO ZAPATA A TRAVES DE LA CALZADA DE TLALPAN.

Uno de los objetivos que pretende dicho plan, es que la Calzada de Tlalpan funcione como vía rápida por ser una de las principales arterias de conexión entre el Sur y el Centro de la Ciudad. Dicha calzada se inicia donde concurren la Carretera Federal y de cuota México - Cuernavaca y continúa hacia el centro de la Ciudad de México hasta el cruce con el Viaducto Miguel Alemán; a partir de este cruce y hasta el primer cuadro de la Ciudad es San Antonio Abad.

En el centro de la Calzada de Tlalpan se encuentra la línea dos del Sistema de Transporte Colectivo Metro. En la Figura 1.1 se observa dicha línea del metro así como la Calzada de Tlalpan.

Para investigar la situación actual del tránsito a través de las avenidas en cuestión, se realizaron aforos vehiculares. Con ayuda de esta información se pudo determinar que dichas arterias trabajaban a una capacidad mayor que la máxima en horas extraordinarias, por lo que en este punto se generaba una gran cantidad de contaminación por los vehículos automotores así como horas-hombre perdidas por las demoras y las colas.

Después de este análisis y basándose en el Plan Nacional De Desarrollo Urbano, el Departamento del Distrito Federal a través de la Dirección General De Obras Públicas, se dió a la tarea de crear la obra civil que resolviera este problema invitando públicamente al concurso para éste efecto.



**FIGURA 1.1**

**AL CENTRO DE LA CALZADA DE TLALPAN SE OBSERVA LA LINEA DOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO.**

## CAPITULO II

### ESTUDIOS PRELIMINARES

## 2.1 DESCRIPCION.

Los estudios preliminares se realizaron con el objeto de elaborar el proyecto ejecutivo de la obra y sirven para conocer las características tanto del problema actual por modificar, como del subsuelo en donde se pretende cimentar y datos topográficos del mismo.

Los estudios preliminares son elementales para generar alternativas de solución y en ellos tiene su soporte la etapa de planeación de todo proyecto de ingeniería.

Posteriormente a la planeación es importante contar con un proyecto de obras inducidas para evitar daños a instalaciones municipales durante la etapa de implementación del proyecto ( construcción ), dentro de estas instalaciones municipales tenemos las siguientes:

- Ductos de TELMEX.
- Ductos de alumbrado público.
- Alcantarillado.
- Agua potable.
- Cables de alta tensión.
- Cables de trolebús.

## 2.2 CLASIFICACION.

Los estudios preliminares realizados para el puente en cuestión se pueden agrupar como sigue:

- Obtención de datos operacionales de la zona.
- Estudios de mecánica de suelos.
- Estudios topográficos del lugar.
- Alternativas de solución.

## 2.3 OBTENCION DE DATOS OPERACIONALES DE LA ZONA.

Para investigar la problemática de la zona en estudio se realizaron visitas al crucero que formaban dichas avenidas (inventariando y midiendo tiempos del tránsito) determinandose de manera inmediata que éstas trabajaban a una capacidad mayor que la máxima en horas extraordinarias.

Con ayuda de un programa de computadora el programa utilizado para proyectar la capacidad y nivel de servicio fue el paquete SOAP 84 SIGNAL OPERATION ANALYSIS PACKAGE FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, en este paquete se introducen los volúmenes vehiculares medidos del crucero y se obtiene una relación de volumen capacidad de proyecto así como medidas de efectividad, dando como resultado dimensiones y tipo de vía necesaria.

Según la información obtenida se determinó que el número de peatones fallecidos por accidentes de tránsito en el crucero llegaba a tener cifras considerables, tratando de eliminarlos se programó aislar el flujo peatonal del vehicular en esta zona.

Se realizaron estudios que determinaron los factores de seguridad que se deben tomar en cuenta para la construcción y operación de una vialidad cuando en ella se tiene flujo vehicular y peatonal, concluyendo que es más factible separarlos.

#### 2.4 ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS

En toda construcción el inicio de la implementación es la cimentación, para determinar su procedimiento constructivo ( método de excavación, ademe, colado, etc.), es necesario conocer el tipo de subsuelo de que se trata, esta información la obtenemos de los estudios de mecánica de suelos que pueden ser preliminares o particulares, los preliminares son exploraciones marcadas de acuerdo con las necesidades del proyecto y cumpliendo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

En dichas normas se fija una cantidad mínima de sondeos tomando como base la ubicación y el tamaño del proyecto; estas normas no demeritan la obligación del Director Responsable de Obra de realizar el número de sondeos que sean necesarios para determinar con la precisión requerida la estratigrafía del subsuelo. En la tabla 1 se observa la estratigrafía del subsuelo de la zona en estudio.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal zonifica a la Ciudad de México en tres zonas:

- Zona 1 . Lomas: espesor de capa compresible hasta de 4 m.
- Zona 2. Transición: espesor de suelo compresible de 4 a 20 m.
- Zona 3 .Lago: capa compresible mayor de 20 m.

Conforme a esta zonificación, la zona en estudio se ubica en una intermedia entre la dos y la tres, por lo que se tomó para diseño la más desfavorable que es la tres. La figura 2.1 muestra la zonificación y ubicación de la obra en cuestión .

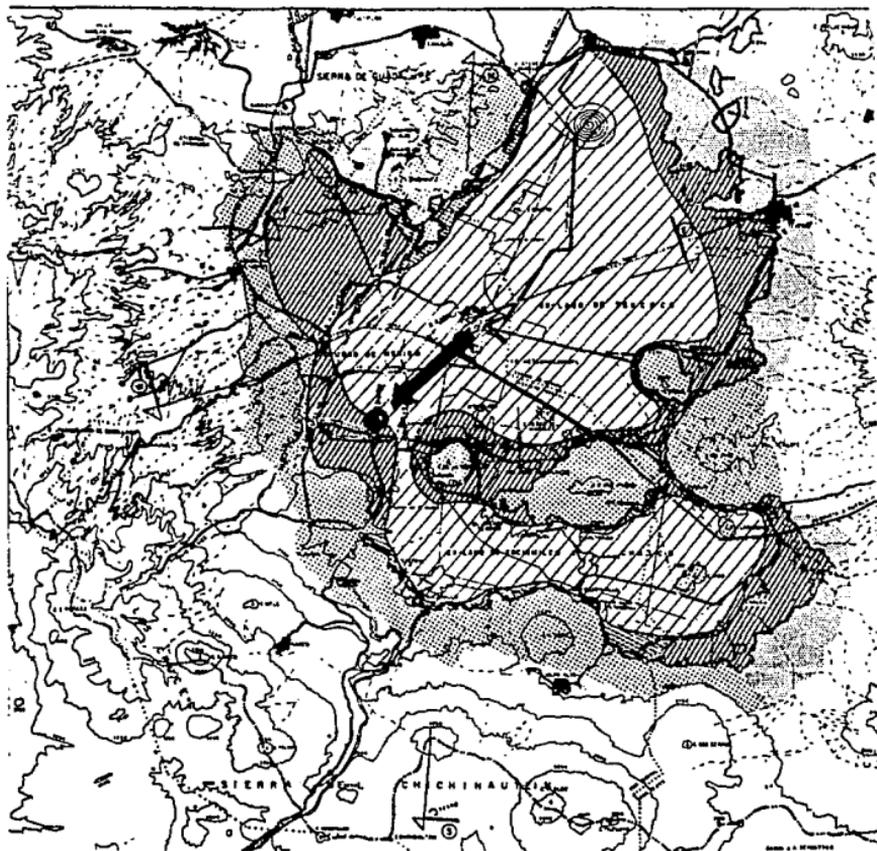


FIGURA 2.1 UBICACION DEL PUENTE .

En base a lo establecido por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, como estudios preliminares se realizaron dos sondeos de cono eléctrico en ambos lados de la calzada de Tlalpan. La figura 2.2 muestra la estratigrafía del lugar.

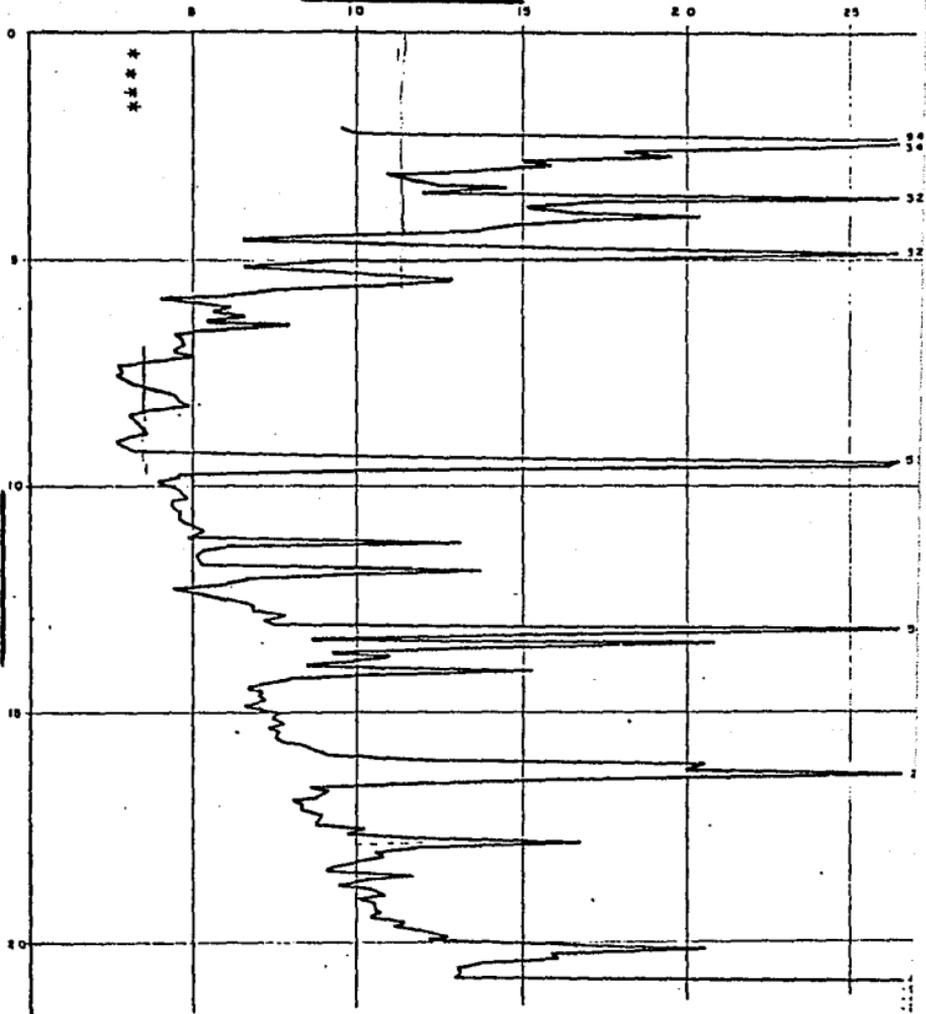
Se investigó el hundimiento regional de la zona y se encontró que es del orden de 4 cm. por año, éste es importante para determinar el periodo de vida útil de la estructura que se proyectó para el puente en cuestión. En los puentes vehiculares el hundimiento regional a largo plazo es un factor determinante del tipo de cimentación ya que estos deben seguir dicho hundimiento para evitar discontinuidades en la carpeta.

Posteriormente a los sondeos preliminares, se programó un sondeo selectivo para conocer con más detalle las características del subsuelo; con las muestras del subsuelo inalteradas obtenidas del sondeo selectivo, se realizaron pruebas para determinar las propiedades índice y mecánicas con el objeto de analizar las alternativas de solución al tipo de cimentación. Adicionalmente se colocó una estación piezométrica para conocer la distribución de presiones hidrostáticas en el subsuelo.

## 2.5 ESTUDIOS TOPOGRAFICOS DEL LUGAR.

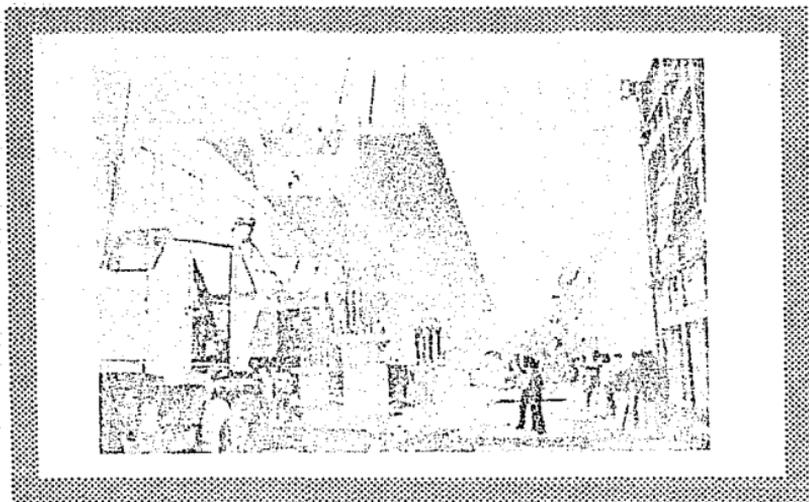
Consisten en plasmar en un plano el sitio donde se pretende ubicar la obra así como los espacios disponibles y posibles interferencias. La figura 2.3 muestra la el espacio reducido para alojar el cajón de cimentación.

RESISTENCIA ( $kg/cm^2$ )



SONDE DE CONO SK - 2

FIGURA 2.2 ESTRATIGRAFIA DEL SUBSUELO .



**FIGURA 2.3**

**SE PRESENTA LA CERCANIA DE LAS ESTRUCTURAS COLINDANTES CON LA CONSTRUCCION Y EL ESPACIO REDUCIDO PARA ALOJAR AL CAJON DE CIMENTACION.**

## 2.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCION.

Con base en la obtención de datos operacionales de la zona, se mostró que el cruce trabajaba a una capacidad mayor que la máxima en horas extraordinarias con pérdidas para los conductores y peligro para los peatones, por lo que se decidió agilizarlo y para ello se plantearon las siguientes alternativas:

- 1.-Deprimir las laterales de calzada de Tlalpan.
- 2.-Elevar las laterales de Tlalpan.
- 3.-Elevar la avenida Emiliano Zapata.

En las alternativas 1 y 2 se tenía la ventaja de lograr la continuidad en Tlalpan, pero la demanda registrada y calculada de proyecto requería una sección mayor de la que era capaz de brindar Tlalpan, esto debido al espacio requerido para excavación, maquinaria, equipo y alojamiento de la circulación de la propia calzada, ya que no se encontró una arteria capaz de alojar el flujo de ésta, aunado a lo anterior se tenía la presencia de la línea dos del Metro que en ningún momento podía ser interrumpida.

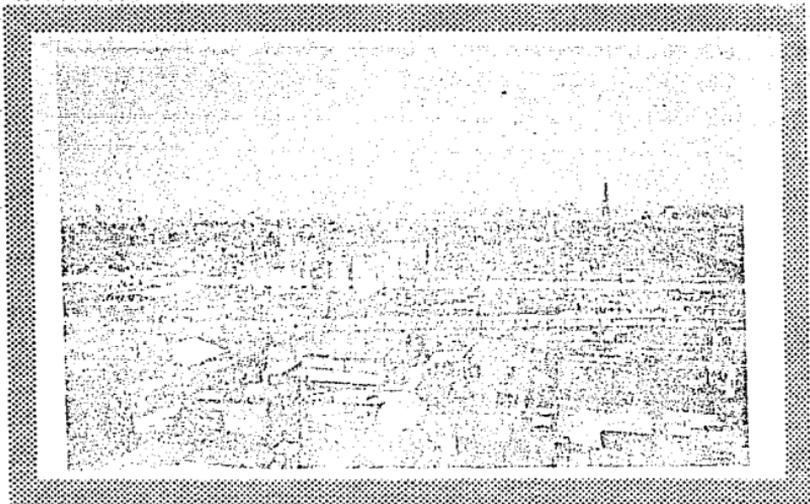
La alternativa 3 lograba la continuidad en Tlalpan, además al elevarse sobre ella no interrumpía su circulación ni la del Metro, presentaba espacio para alojar a la maquinaria, equipo, excavación y existían vías capaces de alojar el flujo vehicular de ésta.

Por lo anterior se escogió la alternativa 3, esto es: ELEVAR LA CALZADA EMILIANO ZAPATA A TRAVES DE TLALPAN.

Se propuso estructurar el puente a través de traveses prefabricadas que salvaran el claro de Tlalpan, dichas traveses se soportarían en zapatas aisladas espaciadas equidistantemente respecto al centro de Tlalpan. Se propuso la construcción de una plazoleta adoquinada bajo el puente la que brindaría seguridad y privacidad a los peatones evitando accidentes, el flujo peatonal se canalizaría por medio de escaleras en ambos extremos de Tlalpan sobre Zapata. La figura 2.4 presenta la alternativa seleccionada y construida.

Tomando en cuenta los resultados de los estudios de Mecánica de Suelos, la experiencia del proyectista, el procedimiento constructivo y el tipo de traveses prefabricadas, se propusieron como posibles alternativas para el tipo de cimentación las siguientes:

- 1.-Pilotes de punta de sección cuadrada de 40x40 cm. con una profundidad de desplante de 25 m. empotrados en un depósito de apoyo de 2 m.



**FIGURA 2.4**

**PUENTE DE EMILIANO ZAPATA A TRAVES DE TLALPAN. ALTERNATIVA CONSTRUIDA.**

2.-Pilotes de fricción de sección cuadrada de 50x50 cm., con una longitud de 18 m.

3.-Compensada mediante un cajón de cimentación.

La alternativa 1 presenta el problema de la emersión en la estructura a largo plazo debido a que no seguira el hundimiento regional, por lo que el puente quedaria fuera de servicio en un plazo relativamente corto.

En la alternativa 2 la estructura sigue el hundimiento regional, esto porque los pilotes de fricción no se encuentran anclados en la capa resistente de terreno y debido a ello se tiene un comportamiento satisfactorio del puente a lo largo de su vida útil, además la longitud de éstos los hace de fácil manejo y proceso de hincado también.

La cimentación compensada necesita un cajón de cimentación grande y profundo debido a que las cargas son grandes y el terreno es poco resistente, esta alternativa requeriria un gran espacio para realizar las maniobras del equipo y el procedimiento constructivo para la excavación del cajón resultaria bastante complicado y costoso.

En base a la evaluación realizada, tratando de minimizar costos, facilitar el procedimiento constructivo y minimizar las interferencias de tránsito, se consideró que la mejor alternativa era realizar una cimentación parcialmente compensada mediante un cajón de cimentación y compensar totalmente mediante pilotes de fricción.

Para el diseño de la cimentación se ocuparon métodos tradicionales. Las normas bajo las que se llevó a cabo la revisión de los estados límite de falla y de servicio son las vigentes en el Distrito Federal (R.C.D.F. y N.T.C.).

CAPITULO III

DESCRIPCION GENERAL

DEL PROYECTO

### 3.1 OBJETIVO DE LA OBRA.

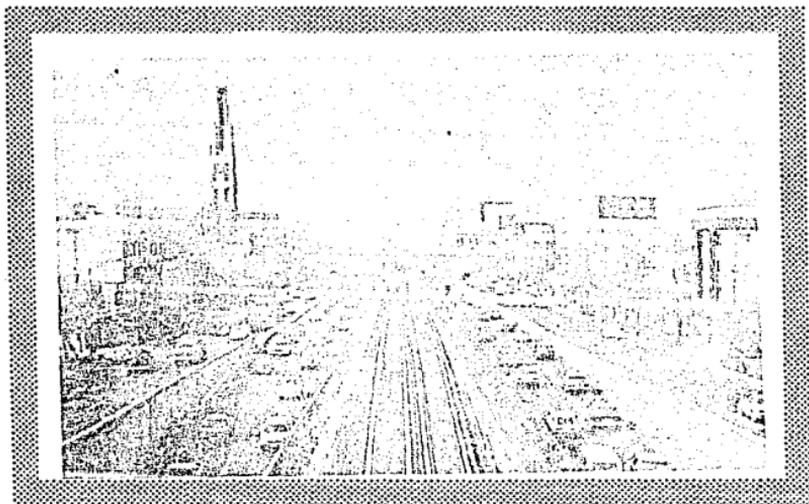
Con la construcción del puente vehicular Emiliano Zapata y calzada de Tlalpan, se dió una mayor fluidez al tránsito vehicular en dichas arterias y en algunas paralelas a ellas en esa zona.

### 3.2 GENERALIDADES DEL PROYECTO.

Un puente es una obra de ingeniería civil que tiene por objeto salvar el cruce ante una vía de comunicación principal, para realizarlo se pueden generar un gran número de alternativas de solución pero existe una que es la más viable desde el punto de vista económico y constructivo, después de analizarlas se eligió construir el puente vehicular de Emiliano Zapata y a través de calzada de Tlalpan.

El diseño constructivo y estructural del puente debió ser tal que en ningún momento se afectara la circulación de Tlalpan y la línea dos del Metro. En la figura 3.1 se observa la línea del metro y la calzada de Tlalpan.

Tomando en cuenta que el claro a través de Tlalpan es de 53 m. y que a lo largo de éste no debía tener ningún soporte, se encontró que mediante traveses prefabricados podía realizarse.



**FIGURA 3.1**

**CALZADA DE TLALPAN EN AMBOS EXTREMOS DE LA LINEA DOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO Y SOBRE ELLAS CRUZAN LAS TRABES QUE FORMAN EL PUEBLO EN CUESTION.**

La sección transversal del puente se compone de tres traveses prefabricados paralelos; en la figura 3.2 se observan dichas traveses y su disposición .

Las traveses tienen sección de cajón y se clasifican en :

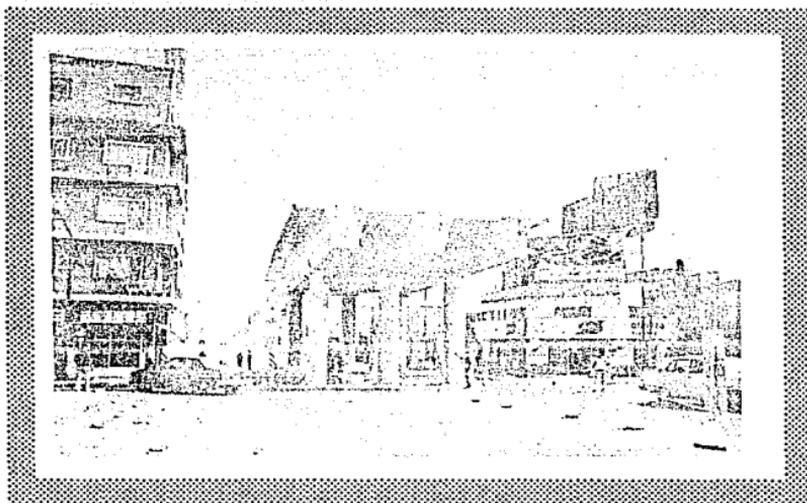
-Traveses centrales.

-Traveses de apoyo.

El puente se compone de un sistema de traveses-columnas, en el cual unas se apoyan directamente en las columnas y otras sobre éstas mismas. Como lo podemos observar en la figura 3.3 .

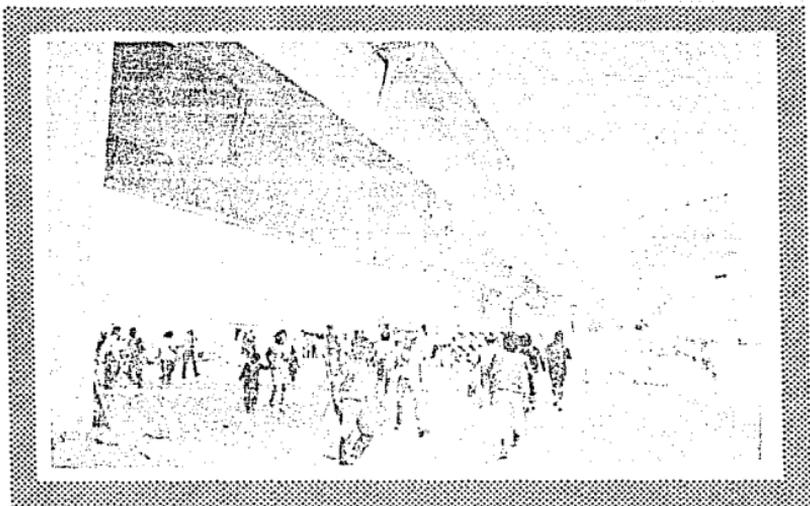
Las traveses centrales tienen su sostén sobre las de apoyo mientras que éstas se desplantan sobre columnas que se rigidizan sobre el cajón de cimentación y ambos se cuelan in situ, mientras que las traveses son prefabricadas, tanto las de apoyo como las centrales cuentan con un extremo fijo y el otro móvil.

Las zapatas se desplantaron sobre pilotes de fricción hincados a percusión fabricados en un solo tramo de sección transversal de 50 x 50 cm., los que posteriormente al hincado se descabezaron (se les demolió el concreto de la parte superior hasta una longitud de proyecto dejando el acero descubierto) para entrelazar el acero del pilote con el de las contratraveses de la zapata de cimentación. En la figura 3.4 se muestra un tramo de pilote descabezado.



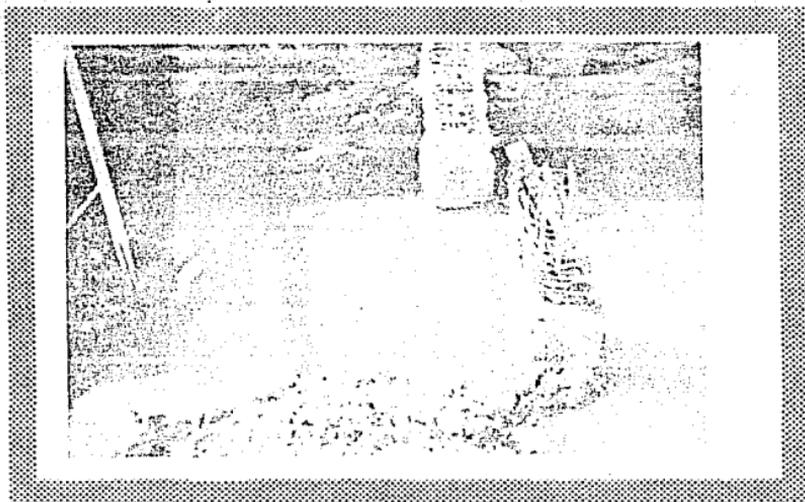
**FIGURA 3.2**

**SISTEMA DE TRES TRABES PREFABRICADAS PARALELAS EN ELLA SE OBSERVAN LOS ALERONES DE LAS DOS COLOCADAS EN LOS EXTREMOS ASI COMO LAS DEL CENTRO QUE FORMABAN LA PISTA DE RODAMIENTO.**



**FIGURA 3.3**

**AL CENTRO TENEMOS UNA TRABE CENTRAL Y SE OBSERVA LA FORMA EN LA QUE SE APOYA ESTA SOBRE LAS TRABES DE APOYO.**



**FIGURA 3.4**

**PILOTES DENTRO DEL CAJON DE CIMENTACION HINCADOS HASTA SU PROFUNDIDAD DE PROYECTO Y DESCABEZADOS PARA ENTRELAZARLOS CON EL ARMADO DEL CAJON POSTERIORMENTE.**

El puente se compone de 14 ejes transversales al longitudinal, (en la figura 3.5 se observan dichos ejes) además, la cimentación del puente se compone de 6 zapatas aisladas espaciadas a lo largo de toda la longitud, éstas pueden ser de dos tipos:

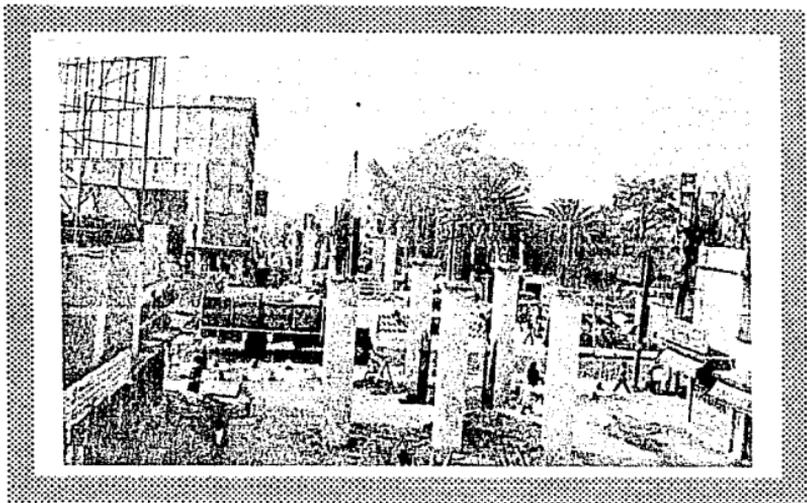
- Zapata Z-1.

- Zapata Z-2.

Los dos tipos de zapatas difieren básicamente en cuanto a dimensiones, consecuencia de las solicitaciones a que cada una está sujeta .

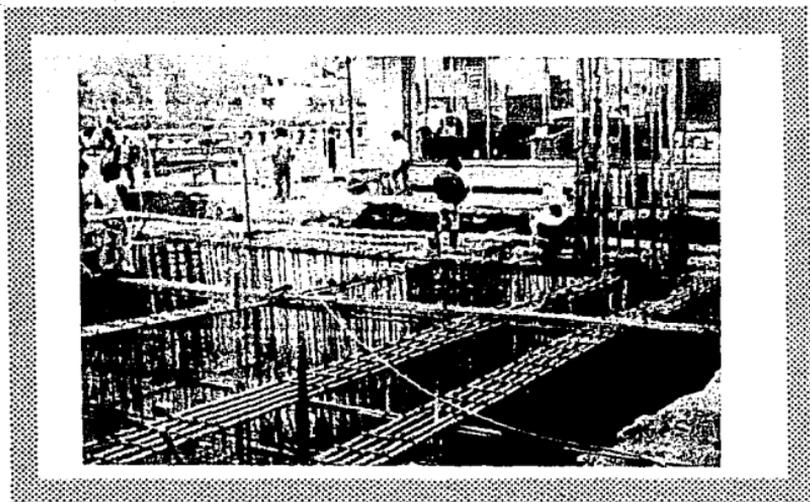
La Z-1 tiene una sección en planta de 12.6 x 11.95, consta de 5 ejes de contratraves de sección 0.80 x 2.90 en ambos sentidos. En la figura 3.6 se observa una zapata tipo Z-1. Se opoya en 20 pilotes de fricción unidos a la zapata en el cruce de las contratraves donde se cuela un dado para reforzar la unión, como se muestra en la figura 3.6.

La zapata se forma de contratraves que generan cajones dentro de la misma, éstos se cubren con una losa tapa y se intercomunican mediante tubos conectores para distribuir el agua que en algún momento pueda infiltrarse en el interior y de esta manera evitar distribuciones irregulares en la carga dentro de la zapata.



**FIGURA 3.5**

**EN CADA UNO DE LOS CAJONES DE CIMENTACION SE TIENEN DOS EJES DE COLUMNAS TRANSVERSALES AL EJE LONGITUDINAL DEL PUENTE COMPUESTO CADA UNO DE ELLOS POR TRES COLUMNAS ALINEADAS.**



**FIGURA 3.6**

**SE OBSERVA EL ARMADO DEL CAJON DE CIMENTACION INCLUYENDO EL DE DESPLANTE DE LA COLUMNA ASI COMO EL PROPIO DE CADA CONTRA TRABE.**

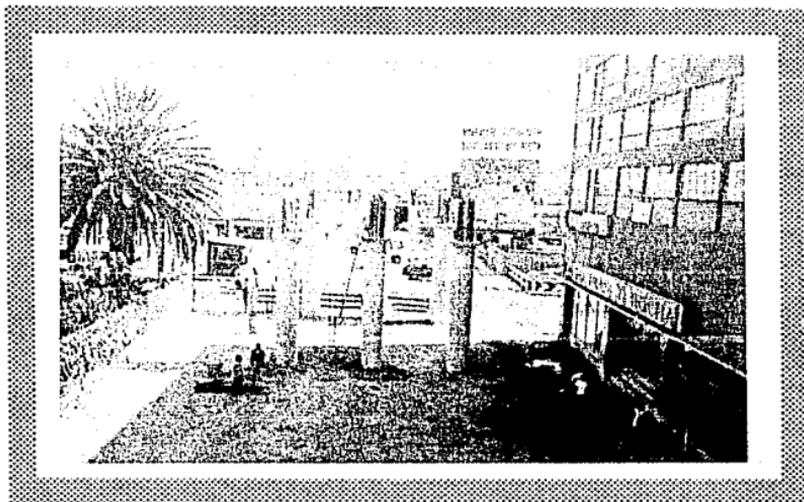
La zapata tipo Z-2 se desplanta sobre 25 pilotes. sus dimensiones son 15 por 11.9 m., de igual manera que la zapata Z-1 tiene una losa tapa y drenes. Debido a que las cargas que soporta son mayores se aumenta la sección de los dados .

En cada una de ellas se desplantan seis columnas distribuidas en dos ejes transversales a la longitud del puente ( fig. 3.7 ). En la zapata tipo Z-1 las columnas son de sección circular de 90 cm. de diámetro mientras que en la Z-2 son de sección elíptica de 1.70 x 1.0 m.; la unión entre columna y zapata se lleva a cabo entrelazando el armado para hacer un colado monolítico.

Debido a la elevación gradual de la pista de rodamiento las traveses deben tener una pendiente que varía de la siguiente manera : 3%, 6%, 3%, .75%, -75%, -3%, -6%, -3%.

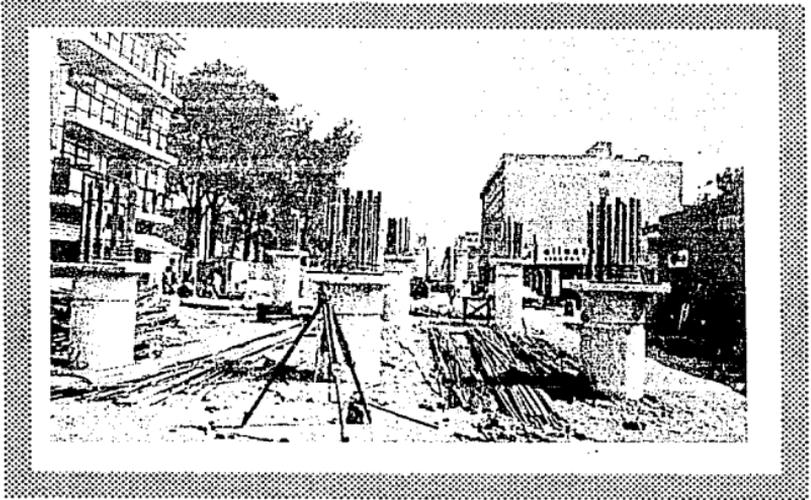
Por la pendiente que tienen las traveses cada eje de columnas debe aumentar gradualmente su altura de acuerdo a su posición relativa dentro del cadenamiento en el puente ( fig. 3.8 ).

La variación en la altura de los ejes de columnas es de 2 a 6 m. del inicio al centro del puente. En la unión entre columna y trabe se colocó un capitel con objeto de distribuir la carga y evitar la penetración de la columna a través de la trabe. La figura 3.9 muestra un capitel.



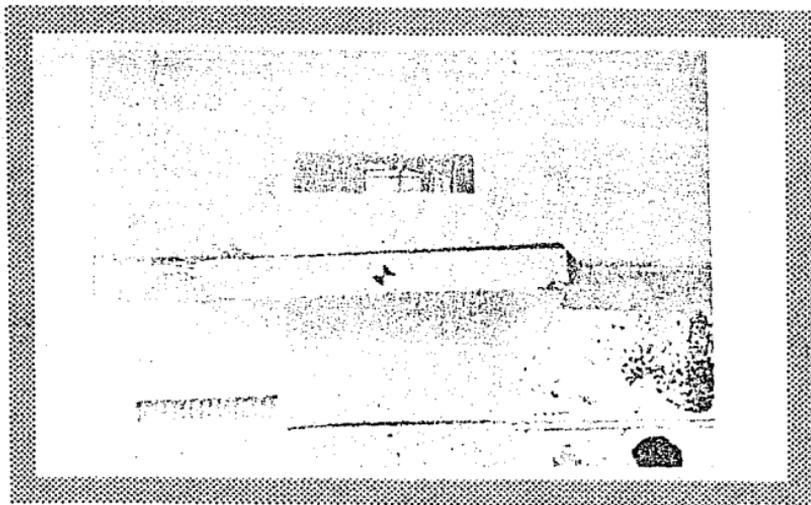
**FIGURA 3.7**

**SISTEMA DE SEIS COLUMNAS COLOCADAS SOBRE UNA ZAPATA TIPO Z-2 A AMBOS LADOS DE CALZADA DE TLALPAN.**



**FIGURA 3.8**

**ELEVACION GRADUAL DE EJES DE COLUMNAS A LO LARGO DEL PUENTE PARA DARLE LA PENDIENTE DE PROYECTO, OBSERVESE QUE EL REMATE DE LAS COLUMNAS ES HORIZONTAL.**



**FIGURA 3.9**

**CAPITEL SOBRE LA COLUMNA PARA RECIBIR LA TRABE PREFABRICADA  
ADEMAS SE PRESENTA EL HUECO PARA COLOCAR EL ACERO TRANSVERSAL  
AL EJE LONGITUDINAL DONDE SE COLOCARA LA TRABE TRANSVERSAL.**

En los extremos del puente, la elevación gradual de la pista de rodamiento se lleva a cabo mediante rampas de acceso que tienen por objeto brindar un ascenso hasta un nivel determinado por la altura del muro estribo. Estas rampas se construyeron por medio de dos muros de contención paralelos que varían su altura gradualmente conforme a la pendiente del puente. Dentro del cajón formado por estos muros se colocan materiales de relleno bien compactados y sobre ellos se tiende una carpeta asfáltica, esta rampa tiene una longitud de 71 m. en ambos muros estribos ( figura 3.10 ).

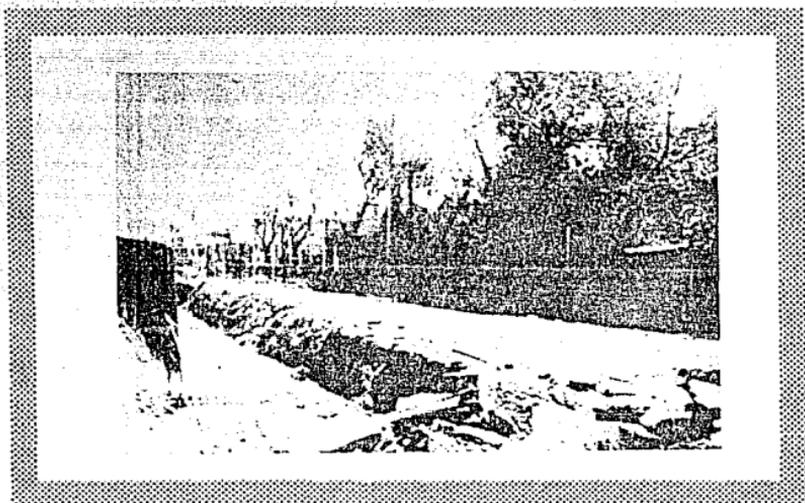
En el tramo donde concluye la rampa de acceso se coloca un muro estribo que tiene una doble función :

- Servir de contención al material de relleno en la rampa de acceso.
- Formar el apoyo para el primer conjunto de traves prefabricadas.

El muro estribo está formado de una sección especial para recibir la forma de las traves centrales .

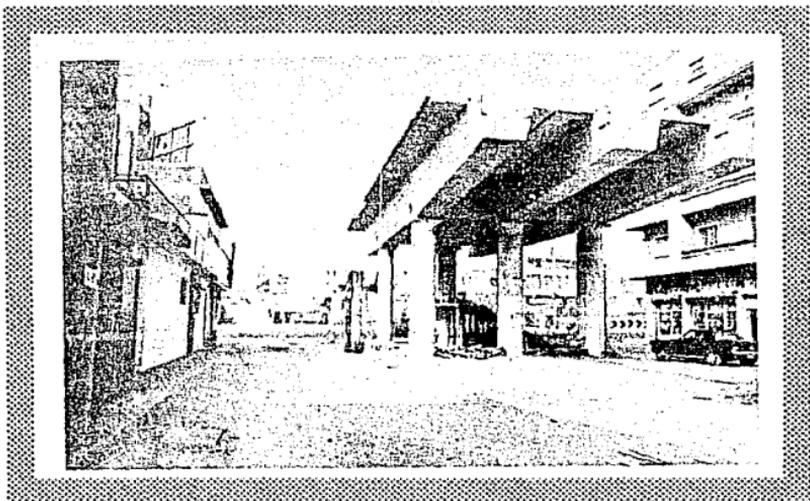
El puente se compone de 39 traves prefabricadas preesforzadas, de las cuales 18 son de apoyo y 21 centrales, sus longitudes varían de 18 a 37 m. dependiendo de su posición relativa dentro del puente.

Dentro de las traves de apoyo tenemos dos localizadas en ambos lados de la calzada de Tlalpan que varían su peralte, esta variación se debe al incremento en los elementos mecánicos por el claro de Tlalpan, a éstas que varían su peralte se les llama de transición y su centro está corrido hacia el lado contrario a Tlalpan por motivos estructurales ( figura 3.11 ).



**FIGURA 3.10**

**MUROS PARALELOS PARA ALOJAR RAMPA DE ACCESO.**



**FIGURA 3.11**

**TRABES DE TRANSICION COLOCADAS SOBRE LAS ZAPATAS Z-2 A AMBOS LADOS DE TIALPAN OBSERVESE LA TRANSICION EN LA SECCION TRANSVERSAL DE LAS TRABES.**

Cada una de las traves cuenta con un extremo fijo y otro móvil. El detalle de unión entre trave - columna y trave - trave debió ser muy preciso por la prefabricación, de no haber sido así, las uniones no se hubieran podido realizar debido a que el rango de movimiento era de más o menos 2 cm.

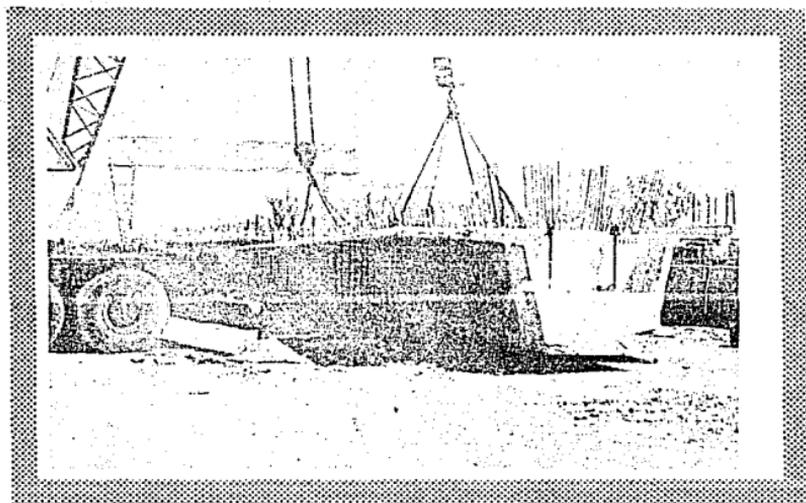
El puente tiene una longitud de 470 m. y traves de 30 m. en promedio por lo que el rango de incertidumbre permitido en la construcción de las zapatas y de las propias traves fue muy bajo, esto originó como consecuencia tener un estricto control en el proceso constructivo.

La fijación de las traves se puede clasificar en dos tipos :

- Unión trave central y de apoyo.
- Unión trave-columna.

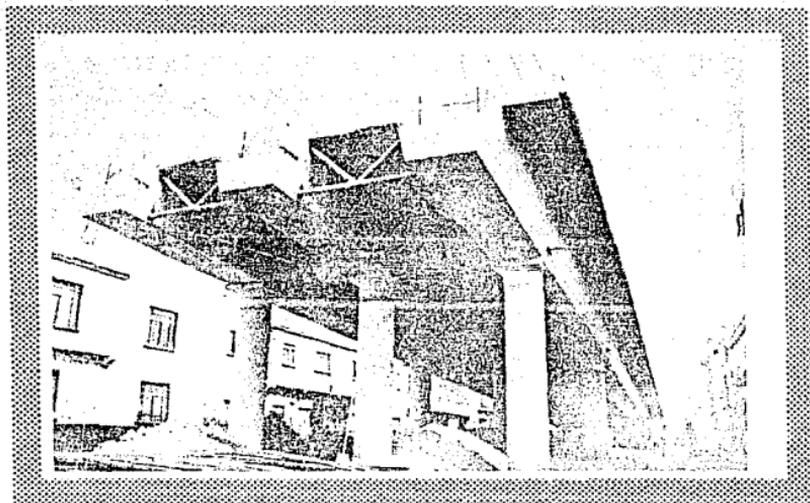
La unión trave con trave se realiza dando la forma adecuada a cada uno de los extremos de las piezas tomando en cuenta que cada una de ellas tendrá una inclinación particular para poder lograr la continuidad.

Las uniones se sostienen entre sí mediante dos anclas roscadas de 1" de diámetro en los cabezales ( extremos de las traves), mediante placas que sirven de rondana a las tuercas que posteriormente se colocarán, las anclas tienen un  $f_y = 10\ 530\ \text{kg/cm}^2$ . En la figura 3.12 se observan las anclas mencionadas.



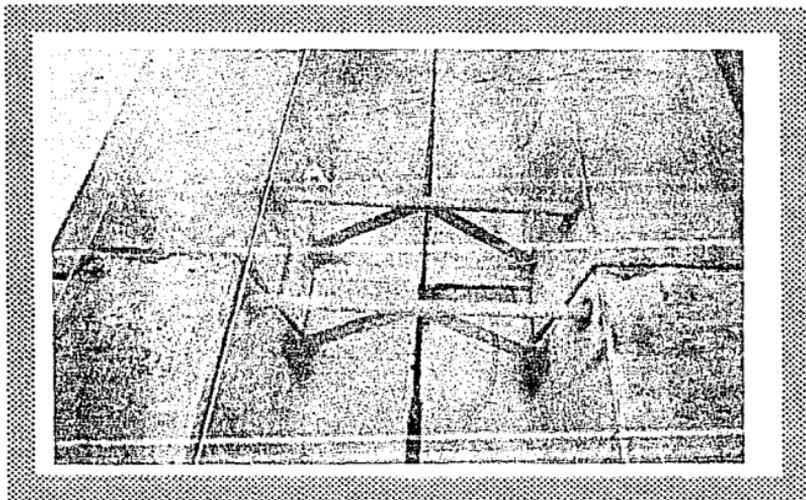
**FIGURA 3.12**

**TRABE EN PLANTA LISTA PARA SER TRANSPORTADA A LA OBRA EN EL EXTREMO SE OBSERVAN LAS ANCLAS DE SUJECION.**



**FIGURA 3.13**

**DIAFRAGMA COLOCADO EN SITIO TRANSVERSAL AL EJE LONGITUDINAL DEL PUENTE MUESTRA UNA VARILLA LISTA PARA SOLDARSE A LA PLACA DE REMATE EN LA PARTE DERECHA.**



**FIGURA 3.14**

**DIAFRAGMA METALICO COLOCADO ENTRE TRABES PARA BRINDAR RIGIDEZ EN EL SENTIDO TRANSVERSAL AL EJE LONGITUDINAL DEL PUENTE, ESTE SE UNE A LAS PLACAS COLOCADAS EN LA TRABE.**

En los cabezales se coloca un armado adicional para la ménsula, éste se logra mediante aditamentos a base de placa con varillas del número 6 soldadas y son los que le dan rigidez así como la forma necesaria para alojar a las placas de neopreno que brindan movilidad al puente.

La unión entre trabe-columna se logró prolongando el acero de la columna a través de la trabe, una vez montada la pieza e introducido el acero, se soldaron las placas de remate a las varillas para evitar el anclaje, en el caso de las trabes de transición, no se colocaron placas de remate porque el peralte permite tener una longitud de varilla tal que cumple con el anclaje, sobre estas placas se coló el firme de compresión; cuando se colocó la trabe en su lugar y el acero vertical de la unión se encontró listo se colocó acero horizontal en toda la longitud transversal pasando por las tres uniones, éste se sostiene mediante placas colocadas en cada uno de los extremos de las trabes exteriores, posteriormente se genera una estructura monolítica con el colado del diafragma transversal para rigidez. En la figura 3.13 observamos el diafragma ya colado.

Con el objeto de rigidizar la unión entre trabes se colocan diafrágramas metálicos fijados mediante placas a cada una de ellas ( como se presenta en la figura 3.14 ).

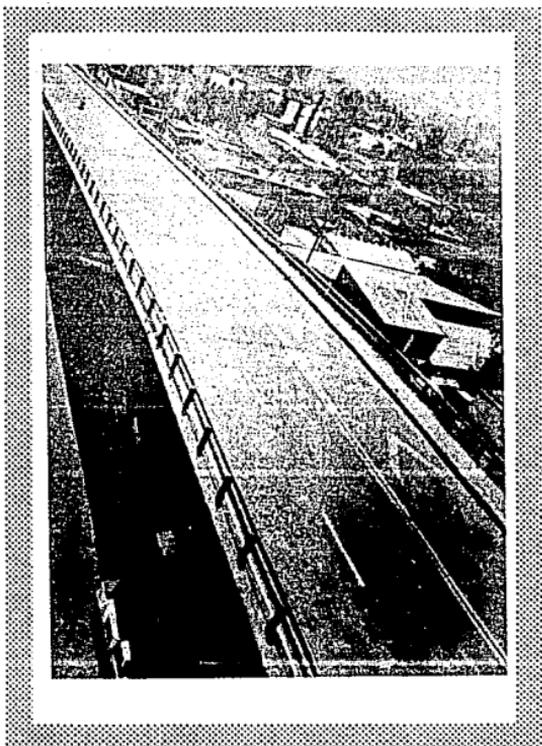
Sobre las traveses se colocó un firme de concreto con objeto de dar continuidad a la pista de rodamiento para posteriormente tender sobre el la carpeta asfáltica.

Anclados en el firme de concreto se colocaron las siguientes instalaciones :

- Banquetas y guarniciones.
- Poste de alumbrado y trolebús.
- Parapeto.
- Desague de aguas pluviales.
- Escaleras peatonales.

Bajo el puente se cuenta con una zona de adocreto. la que solo tiene acceso de los vecinos, aunado a ello se colocaron escaleras peatonales a través de Tlalpan tratando de separar el tránsito vehicular del peatonal.

Se colocaron además jardineras y alumbrado bajo el puente y obras exteriores como se muestra en las figura 3.15 y 3.16.



**FIGURA 3.15**

**OBRAS EXTERIORES DEL PUENTE Y PLAZOLETA  
ADOQUINADA BAJO EL PARA PEATONES.**



**FIGURA 3.16**

**ESCALERAS EN AMBOS LADOS DE CALZADA DE TLALPAN PARA SEGURIDAD DEL PEATON.**

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

DE LA

SUBESTRUCTURA

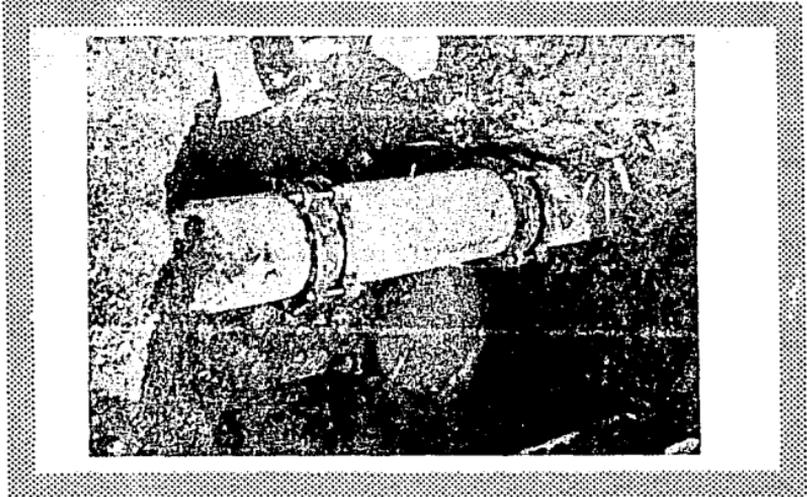
#### 4.1 INTERFERENCIAS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACION.

Las interferencias durante el proceso constructivo de la cimentación se redujeron considerablemente debido a la elaboración del proyecto de obras inducidas, éstas son obras preliminares a la excavación del proyecto que de no tenerlas pueden repercutir en atrasos por averiar alguna instalación municipal ya que su costo es alto y las libranzas requieren tramites prolongados.

Durante el proceso constructivo de la cimentación (propiamente lo que se refiere a excavación de cajones e hincado de pilotes), no se presentaron problemas debido a la ejecución detallada del proyecto de obras inducidas. En las figuras 4.1 y 4.2 se observan algunas obras inducidas realizadas para la ejecución del puente.

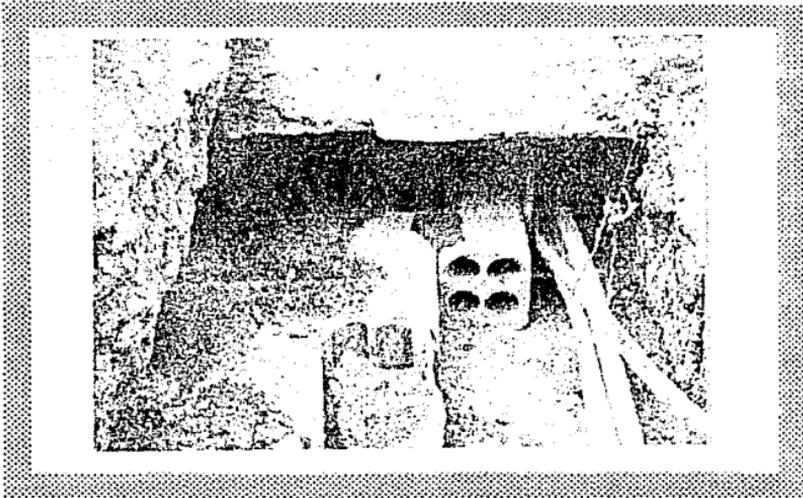
La principal interferencia durante el hincado de pilotes fue el desvío de cables alimentadores para el trolebús, ya que se debía contar con una vía paralela que alojara el flujo y el sistema conector a base de cables; de igual forma se realizaron desvíos de cables de alta tensión, para ello hubo que conseguir libranzas por tiempos definidos en la dirección responsable.

En el desarrollo del procedimiento constructivo de la cimentación la interferencia de mayores consecuencias físicas es la red de agua potable por la presión que sus tuberías alojan y al averiarlas hace que los taludes de la excavación fallen. La figura 4.3 presenta la falla de un talud ante la presencia de agua proveniente de una tubería.



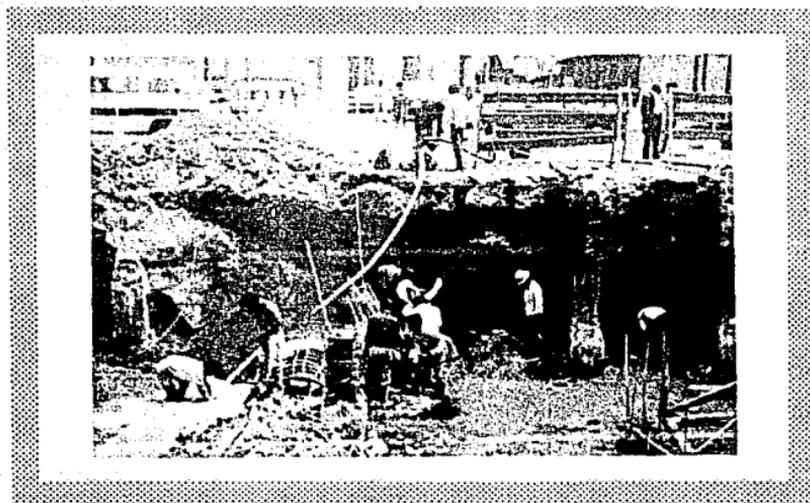
**FIGURA 4.1**

**INTERFERENCIAS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO EN ESTE CASO UNA TUBERIA DE AGUA POTABLE AL CENTRO DE TLALPAN.**



**FIGURA 4.2**

**INTERFERENCIAS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO, SE PRESENTA UN DESVIO DE DUCTOS CON CABLES TELEFONICOS.**



**FIGURA 4.3**

**EXCAVACION EN LA QUE SE PRESENTA LA FALLA DE UN TALUD JUNTO A CALZADA DE TLALPAN POR PRESENCIA DE AGUA.**

Los cables de teléfonos no constituyen una gran interferencia ya que en un caso extremo de averiarios no presentan problemas físicos considerables al avance de la obra, sin embargo su importancia es grande debido a que el costo de la reparación es elevado y el daño ocasionado a la comunidad es grave así como las sanciones públicas, por lo que en algún momento pueden frenar el avance programado de la obra en cuestión .

#### 4.2 FABRICACION E HIZADO DE PILOTES.

##### DESCRIPCION DE LOS PILOTES.

Los pilotes colocados para soportar las cargas que transmite la estructura fueron diseñados para trabajar en forma vertical, éstos resisten las sollicitaciones a las que se encuentra sujeto el puente, la forma en la que dichos pilotes trabajan es mediante la fricción generada en toda la pared del pilote, (comunmente se le llama fuste del pilote).

Para el hincado del pilotes se realizó una perforación previa de 55 cm. de diámetro que tiene por objeto reducir los desplazamientos durante el hincado inicial del pilote, éstos deben ser capaces de resistir una carga de 70 ton. tomando su sección de 50 x 50 cm. y su longitud de 16.5 m, se forman de concreto armado con varillas del número 8 y del 6 con algunas adicionales en la punta y en la cabeza para que resistan los impactos a que se someten durante el golpeo de la piloteadora.

En la cabeza se coloca acero en forma helicoidal que después se retira para poder unir el pilote hincado con la contratrabe. En la figura 4.4 se muestra un pilote descabezado listo para entrelazar acero.

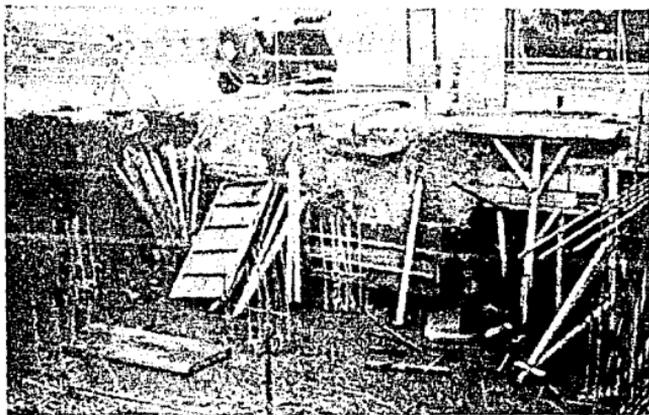
Para la fabricación de pilotes deben cumplirse ciertos requisitos mínimos así como algunos procedimientos constructivos básicos para cumplir con la calidad especificada tanto en materiales como en la pieza terminada, la fabricación de los pilotes se realizó en una planta lejos de la obra por no contar con espacio suficiente en ella para alojar las camas de colado.

Para la fabricación del pilote se procedió de la siguiente manera :

- Se coló un firme de concreto simple de 10 cm. de espesor con una resistencia de 100 kg/cm<sup>2</sup>., el cual alojó a las camas de colado brindando limpieza y uniformidad en las caras terminadas, en él se dejan varillas ahogadas para troquelar la cimbra de los pilotes.

- Habilitado del acero para formar los pilotes.

- Cimbrado del pilote para depositar el concreto hidráulico, la cimbra se formó de perfil PTR. con lámina unidos mediante soldadura, ésta debía de resistir el empuje del concreto así como la presión ejercida por los vibradores del concreto a la hora del colado.



**FIGURA 4.4**

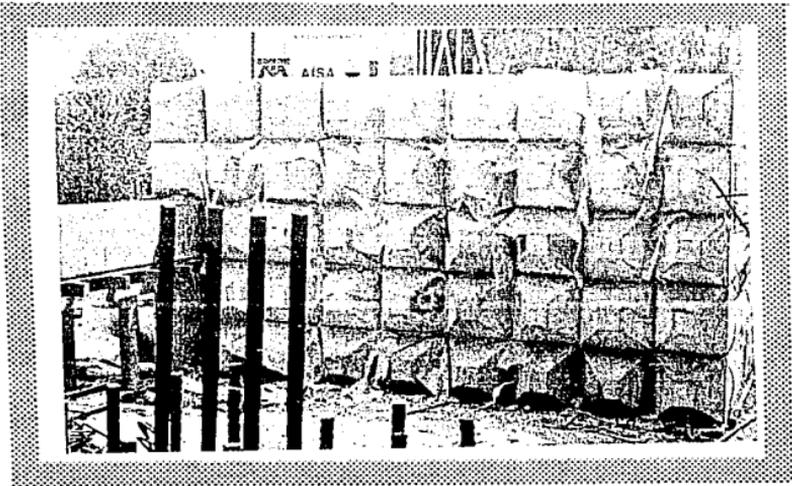
**SE APRECIA EL ACERO DE LOS PILOTES, DESCABEZADOS ENTRELAZADO CON EL DE LAS CONTRATRABES DENTRO DEL CAJON.**

El procedimiento constructivo de los pilotes consiste en colar una cama inicial cimbrandola normalmente y posteriormente cuando se retira la cimbra éstos mismos sirven de cimbra para la siguiente cama, el colado de camas se realiza en forma estriada, con el objeto de que los pilotes no queden unidos entre sí se colocó una membrana que podía ser de diesel, parafina o plástico. En la figura 4.5 se aprecian las camas de colado así como la membrana entre colados.

Los pilotes se colaron de una sola pieza en forma horizontal y monolítica además se debían cuidar las especificaciones para agregados, colado y curado ya que de no cumplir con los requisitos de resistencia mínima especificada, éste se desechaba y su costo era responsabilidad del contratista.

Para el manejo del pilote tanto en la planta como dentro de la obra, se colocaron ganchos de hizaje formados de varilla localizados en puntos de equilibrio en los que los esfuerzos a que se sujeta el elemento sea mínimos, en caso de que algún pilote presentara grietas críticas que indicaran que se sujetó a esfuerzos excesivos o que se manejó fresco. éste era rechazado.

El concreto para los pilotes debía tener una resistencia a la compresión a los 28 días de 250 Kg/cm<sup>2</sup>, debía ser el resultado de una mezcla plástica y uniforme con un revenimiento de 7.5 + - 2.5 cm .



**FIGURA 4.5**

**PILOTES COLOCADOS EN CAMAS SUCCESIVAS SE VE EL PLASTICO COLOCADO PARA EVITAR LA UNION DE ELLOS.**

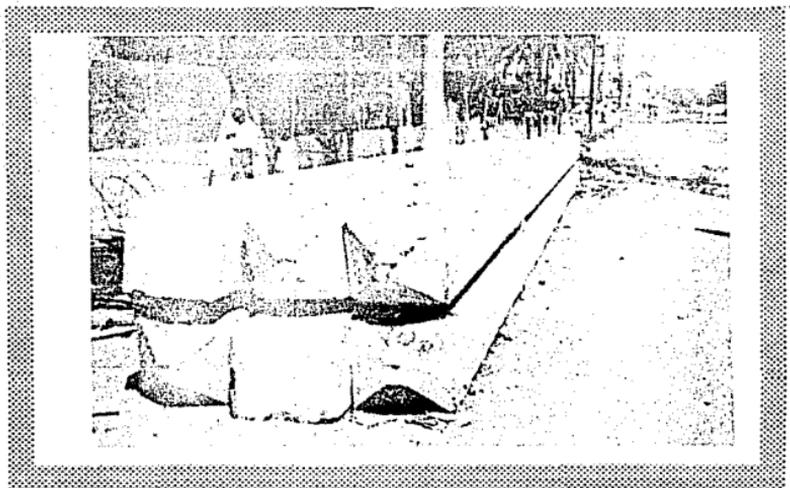
#### 4.3 PROCESO DE HINCADO.

Cuando los pilotes llegaban a la obra éstos eran maniobrados mediante una grua de 45 ton. de capacidad. la que los tomaba de los ganchos de hizaje y los entongaba como se muestra en la figura 4.6 .

El inicio de las actividades del hincado consistió en romper la carpeta asfáltica en el sitio donde se localizaría el pilote, posteriormente se realizaba la perforación previa hasta un tercio de la longitud total del pilote mediante una perforadora de 50 cm. de diámetro.

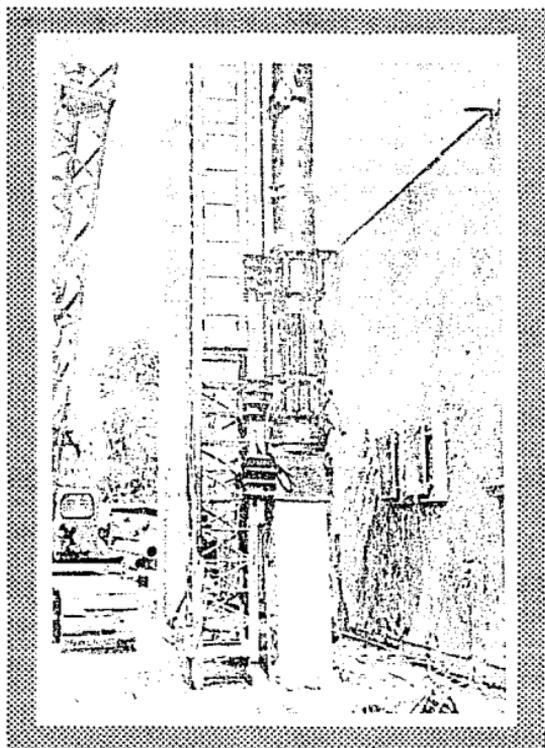
Cuando se contaba con la perforación previa la grua tomaba al pilote de los ganchos de hizaje y lo colocaba dentro de ésta quedando listo para que el martillo iniciara a golpearlo, antes de que el martillo iniciara a golpear el pilote, éste por peso propio penetraba en el terreno hasta una profundidad de 9 m. en promedio, después de este asentamiento el martillo iniciaba actividades sujetando al pilote en la resbaladera de la piloteadora y colocándole el capuchón metálico así como unos polines sobre él para evitar el contacto directo entre capuchón y martillo como se muestra en la figura 4.7.

Para dar inicio al hincado se sube el martillo 6 m. sobre el capuchón y se deja caer, con ello se inicia un ciclo mediante un mecanismo parecido al de los pistones de un motor .



**FIGURA 4.6**

**PILOTES ENTONGADOS EN OBRA LISTOS PARA SER COLOCADOS EN LA PERFORACION PREVIA E HINCARLOS.**



**FIGURA 4.7**

**MARTILLO DE LA PILOTEADORA DONDE SE OBSERVA EL CAPUCHON METALICO.**

El martillo utiliza diesel y mediante su peso propio genera compresión y combustión dentro de una cámara interna del mismo que empuja al pilote hacia abajo y al martillo a la parte alta. Este proceso continúa hasta hincarlo totalmente, el martillo usado fue un DELMAG 22 con peso de martillo de 2200 Kg, se necesitaron de 75 a 90 golpes en promedio para hincar totalmente un pilote.

Durante el hincado del pilote se verificaba la verticalidad mediante un método empírico que consiste en poner un tripié con un hilo de peso colgante y mediante la visual humana alinaerlo a una cierta distancia, esto se realizaba en dos ejes perpendiculares y con ello se garantizaba la verticalidad.

Cuando el pilote llegaba hasta el piso éste no podía penetrar más y para llevarlo hasta su nivel de proyecto bajo el nivel del piso se le colocaba un seguidor formado de un tubo de acero cédula 40 y un capuchón para recibir la cabeza del pilote.

Durante el proceso de hincado se admitía un defasamiento respecto a la vertical en el extremo del pilote de 10 cm. a lo largo de toda la longitud del pilote.

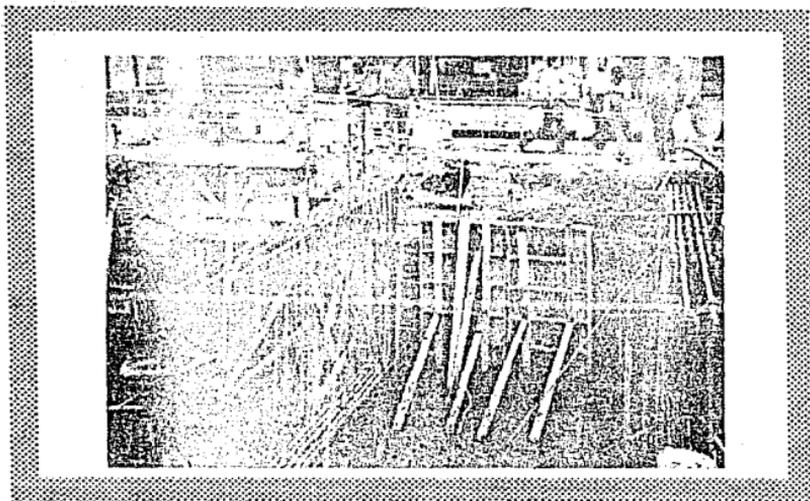
#### 4.4 ZAPATAS DE CIMENTACION.

##### DESCRIPCION.

Las zapatas del puente están formadas por una losa de cimentación de concreto armado en dos lechos, los pilotes se unen a las contratraves en los cruces de éstas por medio de un dado. En la figura 4.8 se observan las contratraves de concreto armado así como el dado de concreto.

Unida a las contratraves se tiene la losa tapa del cajón de cimentación que tiene por objeto impedir el paso de material ajeno dentro de él, con el propósito de prevenir la descompensación de las cargas se colocaron drenes de conexión entre el mismo cajón.

Con el propósito de recuperar la cimbra, se realizó un hueco a la losa tapa de sección cuadrada, por donde sería extraída y, posteriormente, éste se taparía totalmente sin tener acceso alguno al interior.



**FIGURA 4.8**

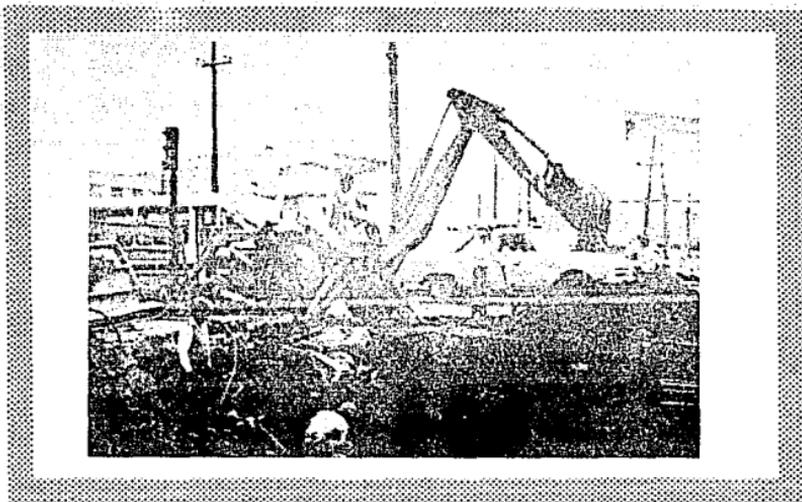
**ARMADO DE CONTRATRABE UNIDO AL DEL PILOTE EN ESTA ETAPA SE INICIA EL CIMBRADO DE LA MISMA.**

#### 4.5 EXCAVACION PARA LA CIMENTACION.

Cuando los pilotes se hincaron hasta su profundidad de proyecto, se procedió a realizar la excavación para alojar al cajón de cimentación y de esta manera descubrir los pilotes hincados para poder demoler 1 m. de concreto de su parte superior y dejar el acero al descubierto para entrelazarlo con la contratrabe .

La excavación se llevó a cabo mediante una retroexcavadora, el procedimiento constructivo consistió en iniciar a excavar por una esquina hasta el nivel de proyecto, avanzada la excavación se procedía a colocar la plantilla de concreto pobre con el propósito de evitar bufamientos del terreno y filtraciones así como para dar limpieza en la colocación del acero de refuerzo para la losa de cimentación, mientras estas actividades se realizaban dentro de una parte del cajón, en la otra continuaba la excavación. La figura 4.9 muestra la excavación realizada.

La excavación debía ser de tal manera que se descubrieran los pilotes por hileras y así poder iniciar el descabezado a la par de la excavación. Con este método se pudo tener avance en actividades paralelas dentro de la excavación (descabezado de pilotes, colado de plantilla, colocado de acero de losa, colado de losa de cimentación y preparaciones para contratrabes).



**FIGURA 4.9**

**EXCAVACION PARA ALOJAR EL CAJON DE CIMENTACION.**

El cimbrado y colado de las contratraves se encontraba restringido al avance en el colado de la losa de cimentación, las contratraves se colaban mediante concreto premezclado realizando un vibrado bastante exigente para evitar grietas y huecos que pudieran causar filtraciones posteriores, el curado se realizaba mediante una membrana especial.

El colado de la losa y contratrabe se realizó mediante concreto premezclado de 250 Kg/cm<sup>2</sup> con un revenimiento de 10 cm.

Cuando la revoladora llegaba a la obra se checaba el revenimiento, si éste se encontraba en un rango de + - 2 cm. del de diseño se aceptaba de no ser así se rechazaba.

El tiempo máximo transcurrido entre la salida de la revoladora de la planta y su llegada a la obra, debía de ser de una hora y media como máximo, el peso volumétrico mínimo debía ser de 2200 Kg/m<sup>3</sup>.

La revoladora descargaba en canalones de lámina los que generalmente se hacían de pedazos de tambos, mediante estos canalones se hacía llegar el concreto hasta la forma en la que sería colocado.

El vibrado del concreto se realizaba con vibradores eléctricos y de gasolina de tal manera que se expulsara el aire contenido en él y también la segregación a través del canalón.

El curado del concreto se llevaba a cabo mediante membranas, éste se realizaba 5 días después del colado cuando se descimbraba el elemento, la cimbra utilizada fue común esto es, que no tenía ningún tipo especial de acabado.

Terminado el colado de las contratraves se colaba la losa tapa para lo cual se realizaba registros con el objeto de recuperar la cimbra, en dichos registros se cortaba el acero estructural y se doblaba para después de recuperar la cimbra colar esta parte de losa. Para el colado de registros se colocaba la cimbra mediante tensores ahogados dentro del mismo.

El armado de las columnas quedaba ahogado dentro de la contratrabe y la losa del cajón de cimentación, y de esta manera continuar con la obra civil para la superestructura del puente en cuestión.

#### 4.6 RAMPAS DE ACCESO Y MURO ESTRIBO.

Las rampas de acceso están formadas por dos muros de contención paralelos que contienen el material que sirve de acceso al puente como se muestra en la figura 4.10 .

Los muros de contención varían su altura a partir del terreno natural de tal manera que ésta aumenta conforme avanza el cadenamiento hacia el centro de Tlalpan.

La cimentación de estos muros está formada por una zapata corrida que varía su ancho conforme el empuje del terreno y por consiguiente la altura del muro crece, a su vez la sección del muro es trapezoidal que varía de 20 a 35 cm. y esta conforme a la altura del muro, los muros se armaron con acero de  $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$  y se colaron mediante concreto premezclado de  $300 \text{ Kg/cm}^2$ .

La zapata del muro de contención se desplantó a un nivel inferior al del piso terminado con objeto de dar empotramiento a los muros de contención.

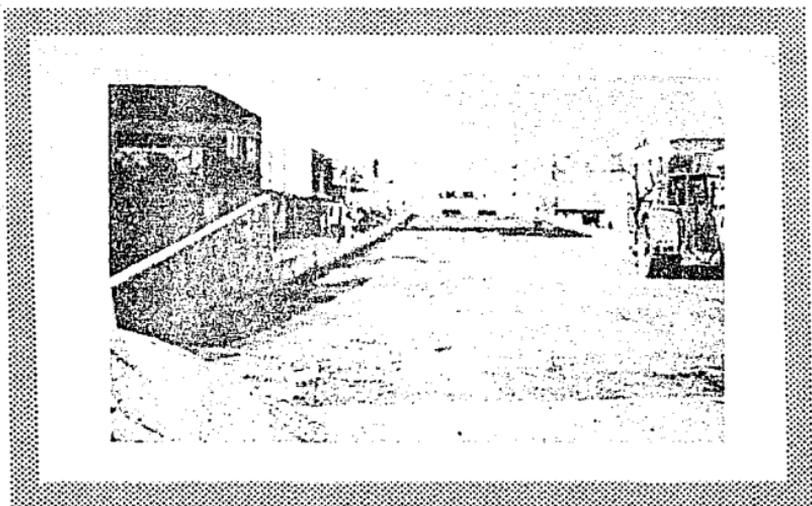
El espacio entre muros se relleno mediante terracerias con granulometria especificada y compactación adecuada para recibir al concreto asfáltico, como se muestra en la figura 4.10.

Al rematar los muros paralelos se tiene un muro estribo el cual tiene por objeto contener el material de relleno asi como la carpeta asfáltica , además servir de conección entre la superestructura del puente (conjunto de traveses y columnas) y la rampa de acceso.

El muro estribo se desplantó bajo el nivel de piso terminado y se inicia donde terminan los muros paralelos.

su sección se diseño de tal manera que soportara el peso y la forma de las traveses prefabricadas que descansan sobre él, de tal manera que es más robusto en los tramos donde se coloca la traveses.

En la estructura se observa un corte de la sección más ligera del muro en ella se provee que el armado de la zapata es menor que en la sección robusta, esto es debido a la diferencia de cargas que se manejan.



**FIGURA 4.10**

**TERRACERIAS EN RAMPA DE ACCESO.**

#### 4.7 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA MUROS DE ACCESO Y TRIBOS

La excavación se llevó hasta su profundidad de proyecto con una retroexcavadora, después de la excavación se coló la plantilla de despiante de 10 cm. de espesor mediante concreto pobre de 100 Kg/cm<sup>2</sup> para así poder iniciar el colocado de acero, cimbrado y colado del elemento estructural. El acero de la zapata se entrelazaba con el del muro propiamente y se colaba la zapata para que éste quedara embebido dentro de la zapata y así continuar con las actividades del muro, se colocaba la cimbra y después de haberla plomeado y alineado se procedía a colar el muro por medios descritos anteriormente, para realizar la unión entre concreto existente en la zapata y el del muro por colar, se colocaban aditivos para garantizar dicha unión y así evitar juntas constructivas que pudieran causar filtraciones y corrosión al acero de refuerzo.

El descimbrado del elemento se llevaba a cabo cuando el concreto era capaz de autosoportarse e inmediatamente se curaba mediante membranas. Una vez colados y descimbrados los muros paralelos se procedió a colocar las terracerías según especificaciones que más adelante se tratarán .

CAPITULO V

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

DE LA

SUPERESTRUCTURA

## 5.1 DESCRIPCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA.

La superestructura se considera como la estructura superior de las zapatas, esto es, columnas, capiteles, accesorios de unión entre cabezales, trabes, losa sobre los alerones de las trabes, pista de rodamiento y obras complementarias como son :

- Banquetas y guarniciones sobre la pista de rodamiento.
- Drenaje de aguas pluviales.
- Alcantarillado.
- Postes de alumbrado y trolebús.
- Jardíneras.
- Escaleras peatonales.
- Paramento.

Para soportar la superestructura se cuenta con 4 zapatas tipo Z-1 y 2 Z-2 cuyas características se trataron en el capítulo anterior .

La forma de transmitir las solicitaciones generadas en la pista de rodamiento a las zapatas, es por medio de las trabes prefabricadas y columnas unidas entre sí mediante aditamentos especiales que logran la continuidad y al mismo tiempo dan movilidad para absorber asentamiento diferenciales que puedan afectar el buen funcionamiento de la estructura.

Las trabes de la estructura son prefabricadas y presforzadas, se despiezan por secciones de tres para conformar la pista de rodamiento y se clasifican en :

- Trabes centrales. TC.

- Trabes de apoyo. - TA.

- TA de transición.

Las centrales se sostienen en sus extremos sobre las de apoyo y de ahí su nombre.

Las de apoyo se soportan mediante columnas, esta unión se realiza a través de una trabe transversal colada para rigidizar a las tres, dentro de las de apoyo tenemos a las que logran la transición de peraltes para salvar el claro de Tlalpan, éstas existen debido a que se tiene un cambio en el peralte y sección transversal entre las trabes centrales a través de Tlalpan, esta variación de peraltes fue consecuencia de impedir algún soporte a través de la calzada de Tlalpan para no obstruir la circulación de vehículos como de la línea dos de Metro y esto generó elementos mecánicos mayores en estas trabes centrales.

## 5.2 CONDICIONANTES Y FORMA DE LA SUPERSTRUCSTURA.

Un puente es una obra de ingeniería civil que tiene por objetivo lograr la continuidad de una vía de comunicación ante un obstáculo.

Para el puente en cuestión se tomó en cuenta que el obstáculo a salvar lo formaba la calzada de Tlalpan y la línea dos del Metro que en ningún momento podían ser obstruidas, después de un análisis se llegó a la conclusión de que se debería salvar mediante un sistema de tres traveses prefabricados paralelos apoyados sobre un sistema de columnas a cada lado del claro que es de 37 m.

Para llevar a cabo este propósito se llevó un procedimiento constructivo a base de colados in situ y prefabricados, siendo las columnas de sección circular y elíptica coladas en sitio y las traveses prefabricados, y desde éste momento se planteó que el control de la ubicación y plomeo de las columnas debía ser bastante estricto ya que las traveses entrarían como piezas de reloj.

Las traveses tienen movilidad en ambos extremos, esto es con objeto de que la estructura ante sollicitaciones pueda tener cierta tendencia a girar o desplazarse en un rango prestablecido para evitar esfuerzos adicionales al puente por deformaciones permanentes .

Sobre las traveses se cuela un firme de concreto con objeto de absorber pequeñas diferencias de niveles entre columnas y de esta manera generar una superficie continua para alojar a la pista de rodamiento.

### 5.3 COLUMNAS.

En el puente se tuvieron dos tipos de columnas: unas de sección circular y otras de forma elíptica. El armado de ambas se compone de varillas del número 12 con  $f_y = 4200$  Kg/cm<sup>2</sup>. éstas son el soporte único del puente y se desplanta sobre un cajón de cimentación, se alinean en dos ejes perpendiculares al eje longitudinal del puente y en cada uno de ellos se alinean tres columnas.

Se optó por colocar zapatas aisladas con columnas para no entorpecer el tránsito de vehículos así como de peatones a través del puente, por esta razón el armado de las columnas debió ser considerable debido a la magnitud de las cargas que soporta cada columna ya que los claros que soporta cada una de ellas son grandes siendo el mayor el que se encuentra a través de Tlalpan.

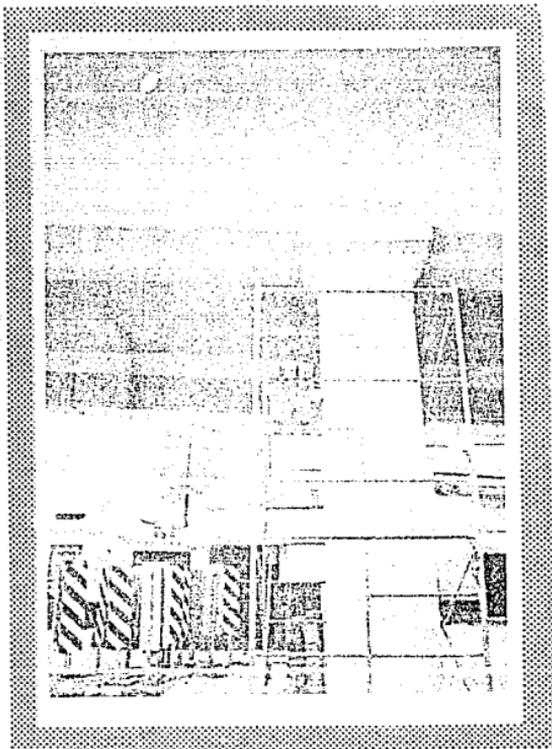
Las columnas varían su altura conforme se avanza en el cadenamamiento de la rampa de acceso hacia el centro de Tlalpan, la pendiente de la pista de rodamiento del puente se logra mediante las trabes ya que el remate de las columnas es horizontal y esta pendiente se tomaba en particular para cada eje de columnas dependiendo del remate logrado en la columna. El puente cuenta con una diferencia de niveles entre ejes de cada una de las zapatas.

En el remate de la columna se cuele un capitel ( la figura 5.1 muestra un capitel ) éste se coloca para evitar la penetración de la columna sobre la trabe y tiene la función de distribuir los esfuerzos entre ambos elementos, dicho capitel se colaba mediante un molde estándar hecho a base de fibra de vidrio. Para la fabricación de este molde se realizó uno preliminar de cartón que se recubrió con fibra de vidrio para de esta manera darle un terminado aparente a los capiteles. En las figuras 5.2y3 se muestra el molde de los capiteles el armado de los capiteles se forma mediante la prolongación del propio de las columnas.

El claro total a salvar mediante el sistema de trabes columnas en el puente que comprende la distancia entre muros estribos de ambos extremos es de 327 m. de longitud, la superficie de rodamiento se compone de tres trabes prefabricadas paralelas como se observa en la figura 5.4.

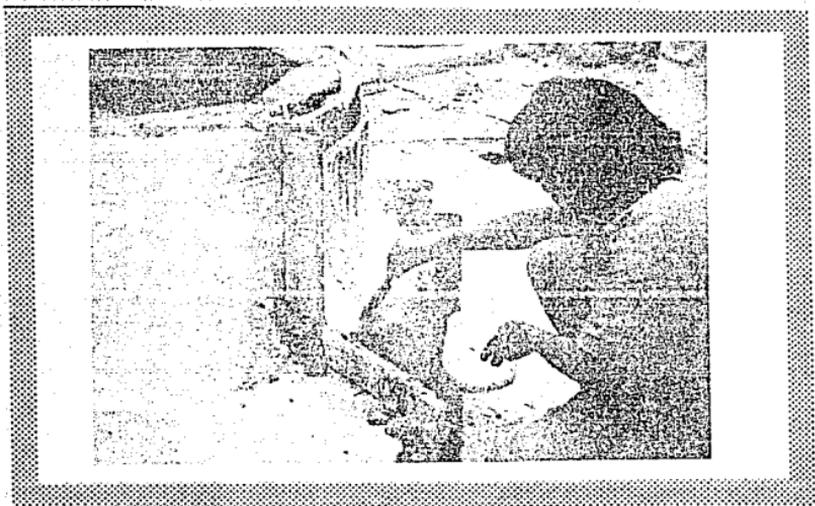
El claro más grande como ya se mencionó, es el de calzada de Tlalpan por lo que las cargas que soportan las columnas en dichos extremos son mayores y ello obligó a tener una sección más robusta, esto trajo como consecuencia que el cajón de la zapata tuviese una sección mayor para evitar esfuerzos excesivos en la masa del suelo y fallas en el terreno y en la estructura tanto del cajón como del puente.

Los claros entre zapatas varían de 23 a 53 m. dependiendo de su posición relativa dentro del cadenamamiento del puente



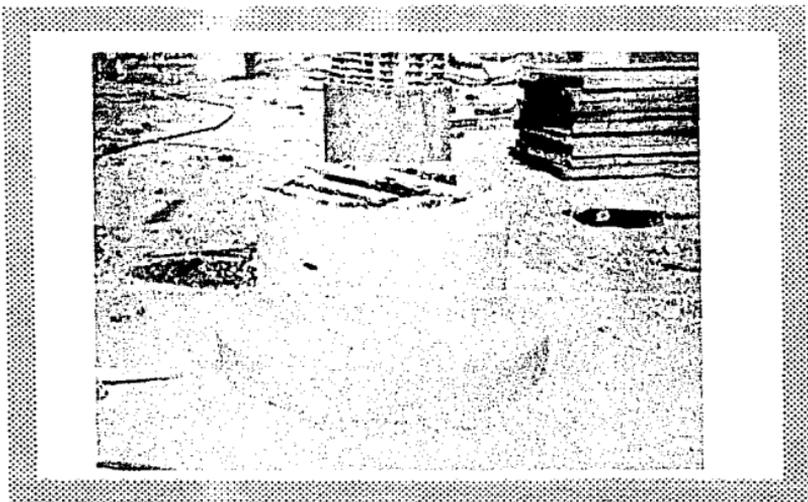
**FIGURA 5.1**

**CAPITEL SOBRE LA COLUMNA PARA EVITAR LA PENETRACION EN LA TRABE.**



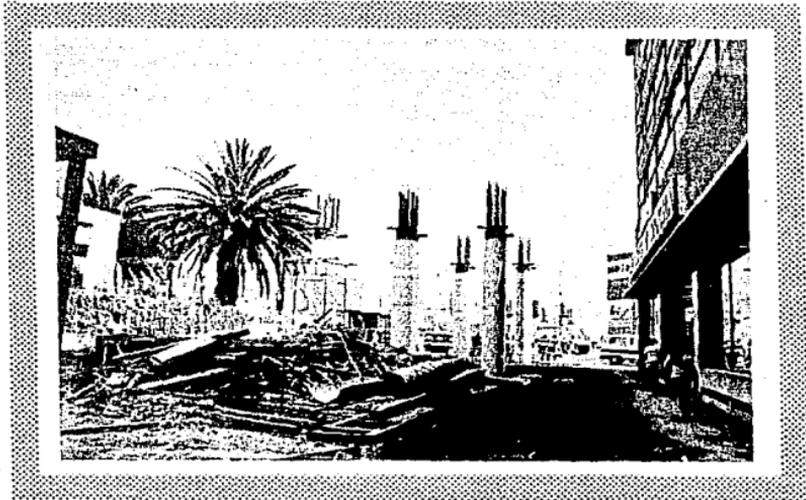
**FIGURA 5.2**

**MOLDE DE FIBRA DE VIDRIO PARA COLAR CAPITELES EN SITIO.**



**FIGURA 5.3**

**SISTEMA DE COLUMNAS SOBRE EL CAJON DE CIMENTACION LAS QUE SE OBSERVAN SON OBLONGAS (DE SECCION ELIPTICA).**

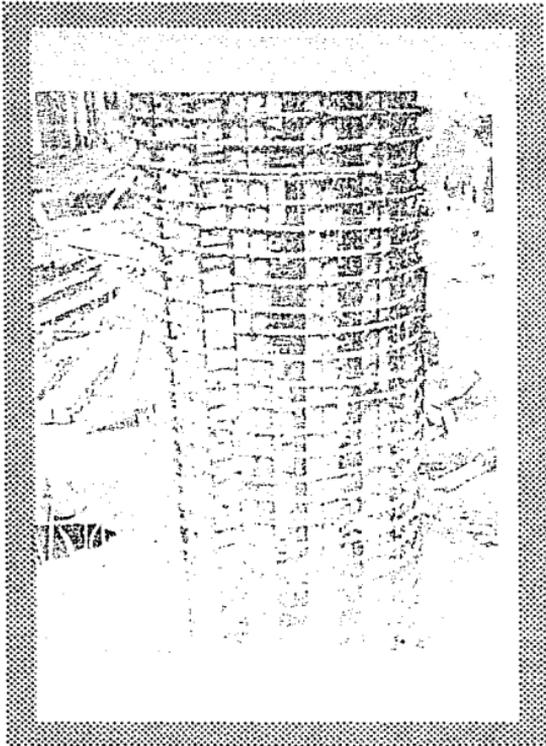


**FIGURA 5.4**

**SISTEMA DE COLUMNAS SOBRE EL CAJON DE CIMENTACION LAS QUE SE OBSERVAN SON OBLONGAS (DE SECCION ELIPTICA).**

En el armado de las columnas se realizaron soldaduras de bulbos en varillas mayores de una pulgada con el objeto de evitar los traslapes que en estos diámetros ya no son funcionales, los traslapes se manejan con el propósito de garantizar la adherencia entre acero y concreto, los estribos en ambas columnas ( circulares o elípticas ), se formaron mediante varillas colocadas en forma de hélice separadas una distancia constante, en ellas el traslape se manejó de vez y media del perímetro de la columna. En la figura 3.5 se observa el armado de una columna tipo del puente tanto vertical como el zuncho horizontal. El vertical se encuentra anclado desde el desplante de la zapata en el cajón de cimentación. .

La construcción propiamente de la columna se inició con la colocación del acero de refuerzo, realizando para ello soldaduras de bulbos en varillas verticales mayores de una pulgada así como el traslape de acero horizontal que era de vuelta y media del diámetro de la columna, posteriormente al armado de la columna se procedía a colocar la cimbra compuesta de partes metálicas de tamaños diferentes y formada por dos partes de medio círculo unidas mediante tornillos, éste tipo de cimbra se colocó tomando en cuenta que las columnas son de dos tipos y que el terminado debía ser totalmente aparente.



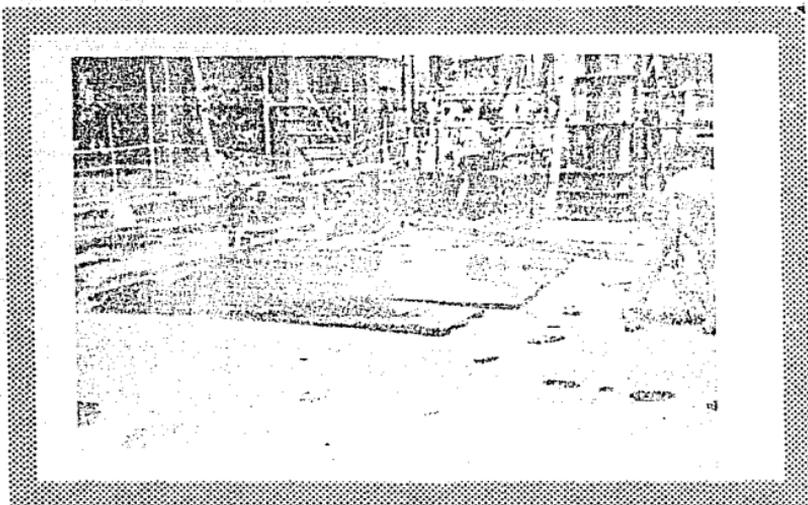
**FIGURA 5.5**

**ARMADO DE UNA COLUMNA TÍPICA DEL PUENTE SE OBSERVA EL ARMADO HELICOIDAL SUSTITUYENDO A LOS ANILLOS COMUNES.**

La cimbra propiamente se componia de un molde a base de dos partes, cada una de sección de medio cilindro formada por lámina y atezadores para dar la forma deseada y con perforaciones verticales en el atezador externo para realizar la unión mediante tornillos y de esta manera facilitar el descimbrado del elemento, para ello tambien se colocó un desmoldante a base de aceite ó diesel. En la figura 5.6 se presenta una parte de dicha cimbra, y en la 5.7 se ve una parte de cimbra habilitada.

El inconveniente más grande de este tipo de cimbra es que debido a las exigencias del terminado aparente no se podían realizar ventanas de acceso tanto a los vibradores como a la manguera de la bomba y ésto obligó a depositar el concreto desde la parte superior de la cimbra teniendo que realizar un vibrado demasiado minucioso por la obstrucción del acero de refuerzo tratando de evitar la segregación del concreto por la altura, a su vez se tuvo que restringir la altura del colado por esta situación representando un avance lento en esta actividad, en las juntas de colados se colocaron aditivos para evitarlas y garantizar la unión entre concretos con el consecuente tratamiento del terminado de las juntas.

Terminada la actividad del cimbrado y perfectamente plomeada y alineada la cimbra, revisados los recubrimientos del acero, se realizaba una limpieza a base de aire y agua para dar inicio al colado del elemento, el concreto era premezclado y se colocaba mediante bombeo hasta la forma del elemento.



**FIGURA 5.6**

**PARTES DE LA CIMBRA METALICA COLOCADA PARA BRINDAR EL TERMINADO APARENTE A LAS COLUMNAS, SE OBSERVA COMO BRILLA EL DESMOLDANTE COLOCADO A DICHAS PARTES.**



**FIGURA 5.7**

**CIMBRA METALICA CON DESMOLDANTE LISTA PARA  
SER COLOCADA EN EL ELEMENTO.**

Cabe mencionar que en esta obra la alineación y plomeo de las columnas tuvo un control bastante esmerado debido a que sobre éstas debían colocarse las trabes prefabricadas y que si se presentaba un defasamiento las trabes quedarían fuera de su posición y no podrían ser colocadas hasta corregir la columna.

El concreto proveniente de la revolvedora se sujetaba a las especificaciones comentadas para las zapatas .

Se agregaba un aditivo acelerante para el desarrollo de resistencia con el objeto de acelerar el proceso de descimbrado .

#### 5.4 TRABES.

El puente se compone de 39 trabes prefabricadas pretensadas, éste se realizaba en planta de la contratista y los elementos se transportaban a la obra mediante trailers en actividades nocturnas para no interrumpir el tránsito debido a las dimensiones de estos elementos.

Las longitudes de estos elementos varían de 16 a 37m. siendo las de mayor longitud las que se localizan a través de Tlalpan, éstas tienen una sección trapezoidal hueca con alerones para formar la pista de rodamiento, la sección aumenta en las que se encuentran sobre Tlalpan por los elementos mecánicos mayores a que se someten estos elementos.



## 5.6 METODO GENERAL DE PRESFUERZO.

El concreto presforzado es precomprimido, esto significa que a un miembro de concreto se le somete a esfuerzos de compresión antes de que éste reciba las sollicitaciones a las que estará sujeto.

Esta precompresión tiene por objeto contrarrestar el efecto de tensión bajo cargas de trabajo ya que el concreto no resiste tensión. El presforzado tiene como finalidad reducir las secciones de los elementos haciendo el concreto resistente a la tensión por medio de cables o tendones de acero que quedan embebidos en él y permanentemente lo comprimen.

Al tener secciones pequeñas resistentes se pueden salvar claros grandes abatiendo el peso del concreto de una estructura normal.

El pretensado se realiza en mesas especiales antes del colado del elemento, en ellas se tensan los torones (paquetes de alambre) a través de un sistema de reacción formado mediante muertos de concreto y gatos hidráulicos, posteriormente al tensado se realiza el colado y cuando el concreto alcanza su resistencia de proyecto se libera la tensión en los torones transmitiendo éstos una compresión al concreto por medio de la adherencia entre ambos.

Las mesas de tensado estan provistas en sus extremos de placas de anclaje donde se apoyan directamente los torones, uno de los extremos se tensa mediante gatos hidráulicos, cuando éstos llegan a la carga de proyecto el gato suelta al torón y éste es tomado mediante una mordaza que actúa en sentido inverso al tensado por lo que el torón queda tensado.

Los cables de tensado quedan en una posición horizontal y la adherencia que se logre entre acero y concreto es de vital importancia por lo que debe revisarse el acero que se encuentre libre de cualquier material tal como aceite o grasa .

Durante el colado del elemento debe cuidarse el vibrado para evitar la presencia de aire que pueda restar adherencia entre acero y concreto.

El curado se hacía a vapor con el objeto de desocupar la mesa lo más pronto posible ya que la producción tenía que ser en gran escala, con el curado a vapor en pocos días se lograba una resistencia que garantizara la adherencia entre acero y concreto.

El concreto para el presfuerzo debía ser de alta resistencia trabajable en estado fresco.

Durante el colado y endurecimiento del concreto existen pérdidas en el esfuerzo del pretensado por calentamiento del acero, deformación del concreto, deformación del acero, flujo plástico del concreto por resistir un esfuerzo constante.

El acero para los torones es de alta resistencia estirado en frío, debe cuidarse que éste no sea de relajamiento demasiado rápido.

Para sostener la carga como ya se mencionó se utilizan mordazas y éstas se forman a base de un barril y una cuña.

En secciones constantes pueden colocarse los torones lo más próximos a los extremos de la sección ya que a mayor excentricidad se tiene una mayor fuerza de tensión que pueda tomar el concreto.

Las pérdidas de tensión en el pretensado las podemos agrupar en:

- Contracción del concreto.
- Deformación elástica del concreto.
- Relajamiento del concreto.
- Curado de vapor.
- Anclaje de las mordazas.
- Fricción en el gato.

En total estas pérdidas suman un 20% de la fuerza aplicada a través de los gatos más un 10% debido a la fricción entre torones y concreto.

El pretensado tiene aplicación en secciones pequeñas en las que se salvan claros grandes donde el peso del elemento genera cargas excesivas.

En el puente en cuestión el pretensado fue bastante adecuado debido a las necesidades constructivas antes mencionadas, además el tiempo de ejecución del montaje se redujo comparado con los colados en sitio.

### 5.7 DESCRIPCION DEL METODO DE PRETENSADO.

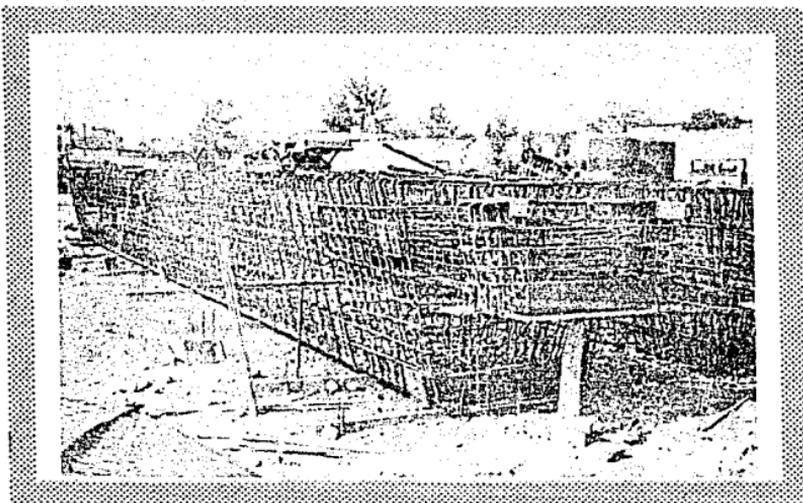
El pretensado de las trabes se realizó en la planta de la contratista, éste se llevaba a cabo en mesas especiales de tensado en las que se colocaba un sistema de reacción a través de tubos de cédula 40 que trabajaban a compresión por la tensión generada mediante gatos hidráulicos al tensar los torones, éstos, dependiendo del tipo de trabe ( central o de apoyo), se podían colocar en la parte superior o inferior de la sección según sea el caso y las sollicitaciones a las que se sometiera. En dichas mesas de tensado se introducía el armado de la trabe que previamente se habilitaba y armaba fuera de la mesa ( la figura 5.8).

Mediante los gatos hidráulicos se da tensión a los torones sosteniendolos mediante mordazas, esta tensión permanece en los torones hasta que el concreto alcanza su resistencia de proyecto. La figura 5.9 muestra las mordazas, éstas sujetaban al torón cuando el gato llegaba a la fuerza de proyecto y automáticamente cuando el gato disminuía la fuerza éstas entraban en acción .

En el extremo opuesto de las mordazas se colocaba un sistema de reacción a base de placas unidas a la mesa de tensado.

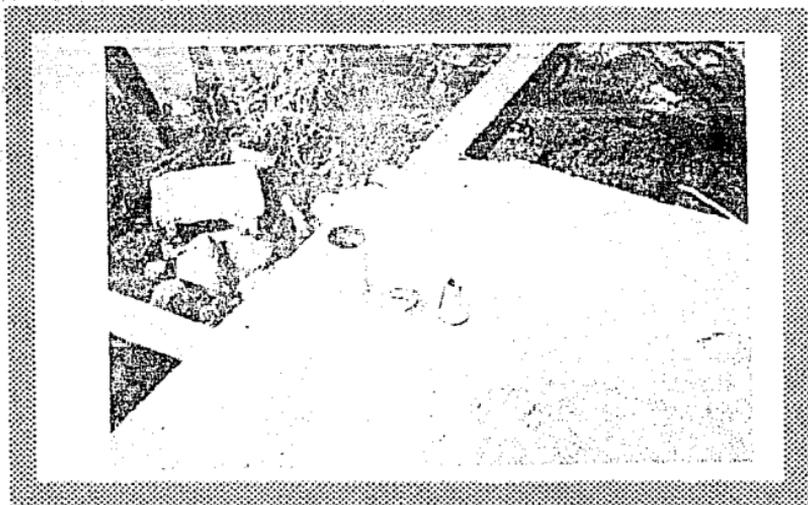
La mordaza se compone de 3 elementos que son:

- Cilindro interior de forma cónica.
- Resorte impulsor de cono prisionero.
- Cono prisionero.



**FIGURA 5.8**

**ARMADO DE LA TRABE LISTO PARA INTRODUCIRLO EN LA MESA DE TENSADO EN EL EXTREMO SE TIENEN LOS ADITAMENTOS PARA UNION ENTRE TRABES A BASE DE PLACAS DE ACERO.**



**FIGURA 5.9**

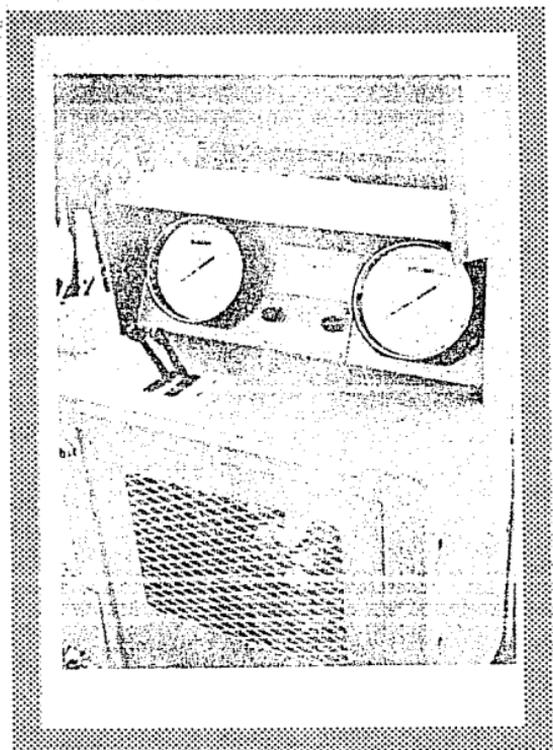
**MORDAZAS PARA SUJETAR AL TORON DENTRO DE LA MESA DE TENSADO, SE MUESTRAN LAS PARTES DE LA MORDAZA.**

El sistema funciona de la siguiente manera: el gato llega a la carga necesaria como se muestra en la figura 5.10 y el resorte impulsa al cono prisionero que toma al torón gradualmente, la fuerza con la que lo toma es proporcional a la tensión de tal manera que cuando el gato no tiene fuerza alguna la mordaza toma el total de la tensión.

El tensado de los torones se lleva a cabo después de que todo el acero de la trabe se introduce en la mesa. Una vez terminado el tensado del torón y el acero totalmente colocado, nivelado y checados los recubrimientos, se procedía a colar las paredes de la sección dejando el colado de la losa para después, en dicho colado se dejaba cimbra muerta en la losa de la trabe, ésta cimbra quedaba dentro debido a que la sección era hueca.

El colado del elemento se llevaba a cabo mediante concreto premezclado realizando una estricta supervisión así como del curado con vapor realizado a las trabes, este curado se eligió para acelerar el desarrollo de la resistencia aumentado la producción de trabes que debía ser en serie por los requerimientos del proceso constructivo.

Para realizar el traslado de las trabes de la mesa de tensado a su lugar de estiba se colocaron ganchos de hizaje mediante cable unido al armado del elemento ubicados en puntos donde los esfuerzos generados por el peso de la estructura fueran mínimos como se observa en la figura 5.11 .



**FIGURA 5.10**

**CONSOLA DE MEDICION PARA LA TENSION DE LOS TORONES EN LA MESA DE TENSADO.**



**FIGURA 5.11**

**PUNTOS DONDE SE LOCALIZABAN LOS GANCHOS DE HIZAJE DE LAS TRABES, SE MUESTRA EL MONTAJE DE UNA TRABE CENTRAL.**

## 5.8 DETALLES DE UNION ENTRE CABEZALES

La unión entre traves centrales y de apoyo se lleva a cabo mediante accesorios en cada uno de los extremos de las traves ( cabezales ).

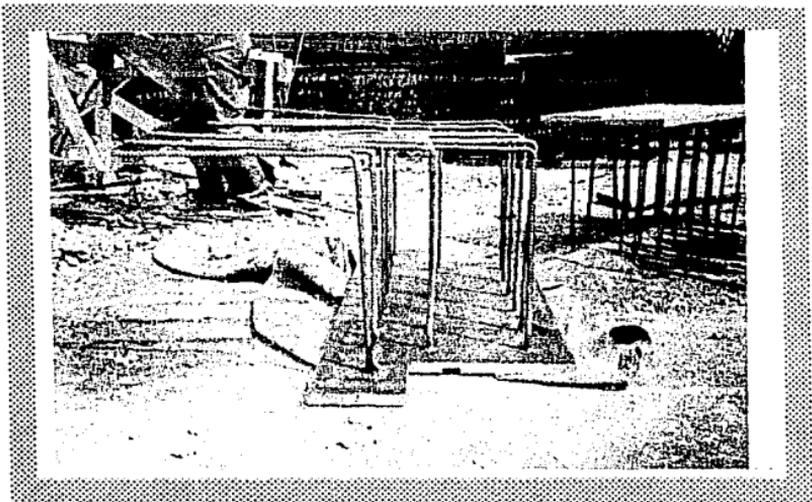
Cada trave cuenta con un apoyo fijo y el otro móvil, el fijo no tiene movimiento alguno mientras que el otro cuenta con una olgura de 2 cm. .

El cabezal de cada trave ya sea central o de apoyo, se refuerza mediante accesorios formados de placa con varillas soldadas como se muestra en la figura 5.12, las varillas del accesorio quedan embebidas dentro del concreto para darle continuidad al elemento.

Estas placas sirven de soporte a otra placa con un hueco circular para alojar al aditamento de neopreno ( como se presenta en la figura 5.12 una placa se coloca sobre la que está anclada al elemento, mediante dos ranuras longitudinales se impide su movimiento, ésta es la que presenta el soporte para el neopreno ).

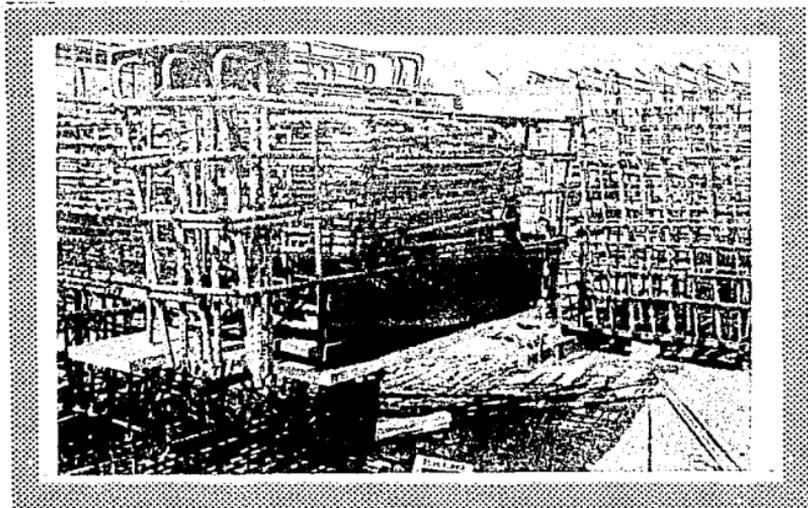
El neopreno es un material rígido que tiene una gran resistencia a la compresión y además admite deformaciones por lo que es ideal para las condiciones de las uniones entre cabezales, actualmente el neopreno se usa en juntas constructivas para edificios con el objeto de separarlos estructuralmente y asumir deformaciones entre ellos.

En la figura 5.13 se observan los aditamentos de la unión entre cabezales y la forma en la que éstos se deben colocar.



**FIGURA 5.12**

**PLACA COLOCADA EN LOS CABEZALES PARA REALIZAR LA UNION ENTRE TRABES SE OBSERVAN LOS HUECOS PARA UNION.**



**FIGURA 5.13**

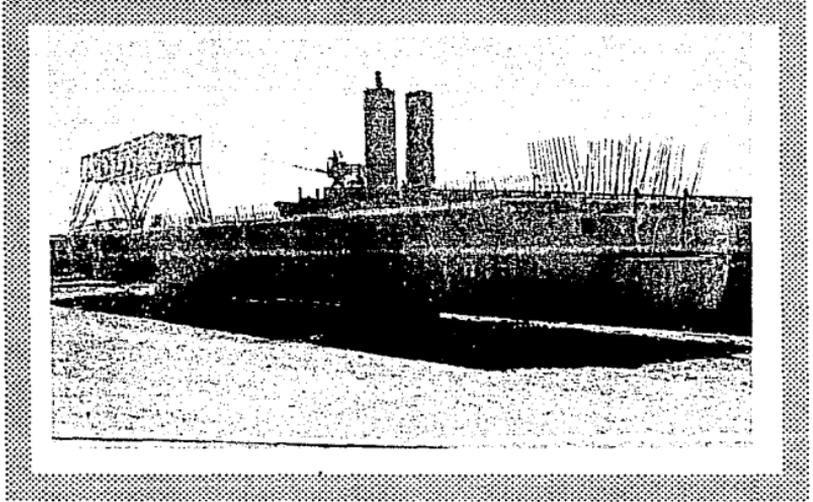
**ADITAMENTOS DE UNION ANCLADOS EN EL ARMADO DE LA TRABE LISTO PARA INTRODUCIRLO EN LA MESA DE TENSADO.**

Con el objeto de unir los cabezales en el sentido vertical se colocan anclas de un  $f_y = 10530 \text{ Kg/cm}^2$  que penetran hasta la parte superior de éste por medio de preparaciones hechas a las trabes centrales mientras que en las de apoyo éstos se encuentran embebidos en el concreto, la figura 5.14 muestra estas anclas, además en su parte superior se les colocó una placa para que sirviera de rondana a la tuerca que sellaba esta unión.

Es importante resaltar el hecho de que en las uniones de cabezales no se realizó ningún tipo de colado en sitio ya que cuando se terminaban de colocar los aditamentos de unión éstos mediante el peso propio de las trabes se sujetaban entre si y esta sujeción se incrementaría con las solicitaciones a las que se sujetara el puente durante su vida útil, de esta manera se logró adecuar los elementos mecánicos del puente con la forma de cada una de las uniones entre trabes.

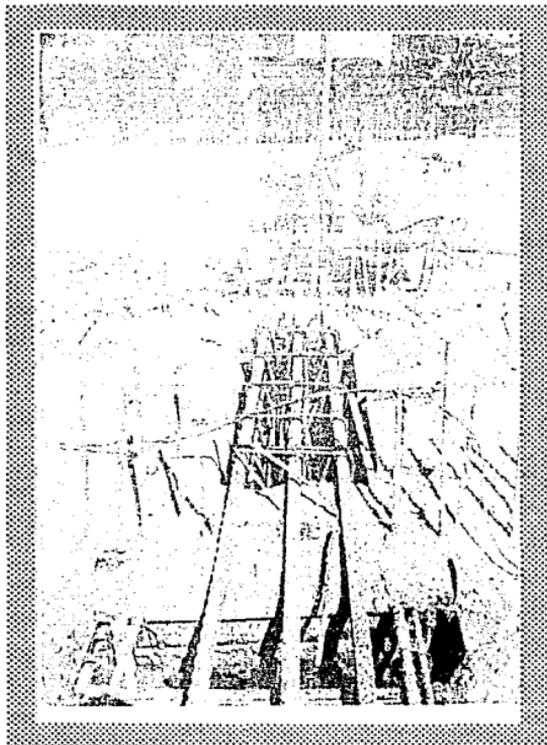
Para rigidizar el conjunto de trabes de apoyo prefabricadas, se colaron en sitio dos trabes en sentido transversal al eje longitudinal del puente en cada zapata, el acero se colocó a todo lo largo de la sección total del puente, en la figura 5. 15 se presentan las trabes de rigidez coladas en sitio.

Además se colocaron diafragmas metálicos compuestos de tubos de cédula 40 en cruz, los que se fijaron a través de soldadura a unas placas colocadas en la trabe prefabricada especialmente para ello, éstos trabajan a compresión y su función es evitar que las trabes puedan deformarse en sentido transversal al eje principal del puente.



**FIGURA 5.14**

**ANCLAS DE UNION ENTRE TRABES, TRABE EN PLANTA LISTA PARA TRANSPORTARSE A LA OBRA.**



**FIGURA 5.15**

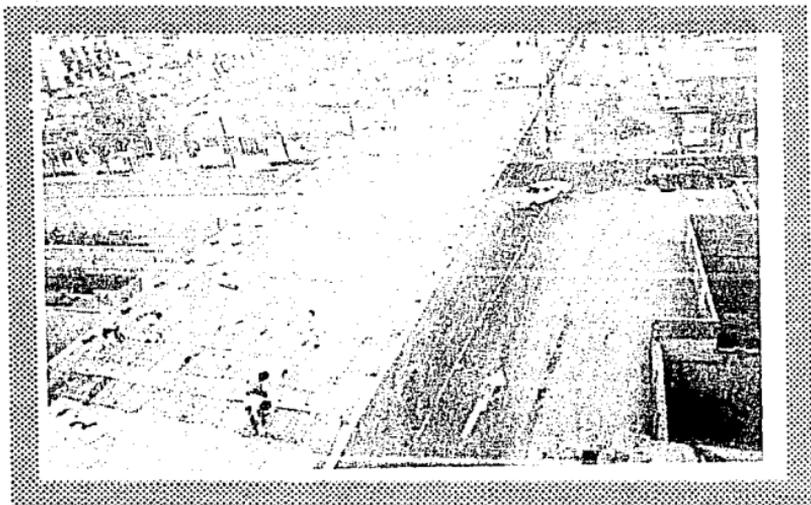
**ARMADO DE LA TRABE TRANSVERSAL AL EJE  
LONGITUDINAL DEL PUENTE COLOCADA EN SITIO  
PARA RIGIDIZAR EL SISTEMA DE TRABES.**

Los diafragmas evitaron los esfuerzos generados por la torsión de los elementos que puedan causar problemas a la estabilidad de una trabe en particular y de la estructura en general.

#### 5.9 LOSA SOBRE LAS TRABES.

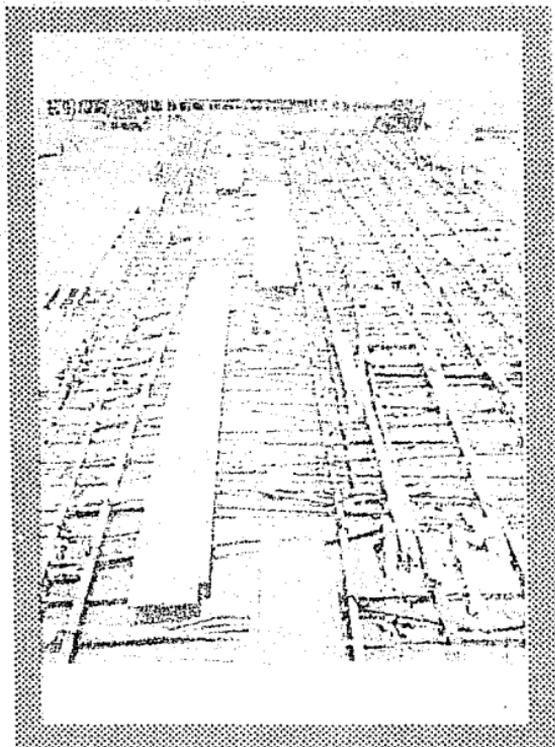
Sobre las trabes se coló una losa de concreto armado a todo lo largo de la estructura, tratando de evitar que se tuviera un colado monolítico que pudiera fracturarse con el movimiento generado por las cargas, sobre la estructura se colocaron juntas a base de peines de rodamiento que generaran una losa por tramos, estos peines se colocaron en forma alternada para que la grieta no tomara otra dirección que no fuera la de la junta entre trabes, en la figura 5.16 y 5.17 se muestra la losa así como los peines de la misma.

Sobre esta losa se colocó el concreto asfáltico así como demás obras exteriores a la estructura.



**FIGURA 5.16**

**SE PRESENTA EL ARMADO DE LA LOZA SOBRE LAS TRABES PREFABRICADAS A TRAVES DE CALZADA DE TLALPAN.**



**FIGURA 5.17**

**PEINES EN LA LOSA SOBRE LAS TRABES PARA EVITAR UNA LOSA MONOLITICA.**

CAPITULO VI

TERRACERIAS BASES SUBBASES

Y REVESTIMIENTOS

## 6.1 MODO DE OBTENER LOS MATERIALES

Cuando los materiales para las diferentes capas de terraplenes son grandes como es el caso de una presa o una carretera, se deben localizar y seleccionar bancos en zonas aledañas ya que el costo del acarreo es uno de los factores principales. En el puente en cuestión el costo no fue determinante ya que las terracerías, bases y subbases no tuvieron un volumen grande.

Para las terracerías del puente se ocuparon agregados de zonas aledañas obtenidos a partir de bancos, es común utilizar agregados mezclados con cemento, cal y puzolana para mejorar la estabilidad de la capa, para las subbases el tamaño máximo de las partículas debe ser menor de 2 pulgadas y para la base será menor de 1.5 pulgadas.

Las terracerías del puente se dividieron en dos partes, las que se colocaron entre vialidad existente y muro estribo y las que se realizaron bajo el puente en la zona adoquinada.

## 6.2 PROCEDIMIENTO DE COLOCACION Y ESPECIFICACIONES

Terracerías colocadas entre muro estribo y vialidad. Se excavó a una profundidad de 50 cm. bajo el nivel de la vialidad actual o hasta encontrar el terreno firme, la terracería se compone de las capas siguientes:

- Capa escarificada y recompactada.
- Relleno aligerado, formado por tezontle acomodado con un espesor variable.
- Subrasante, compuesta por tepetate.
- Subbase de grava cementada.
- Base de grava controlada.

La capa escarificada y recompactada como se mencionó anteriormente, se excava hasta encontrar terreno firme o retirar el relleno, se escarifican 15 cm. para realizar la compactación con objeto de retirar cualquier material nocivo al comportamiento del terraplén, este material se compacta al 85% de Proctor , sobre esta capa se colocó el relleno aligerado a base de tezontle en capas de 20 cm. , compactándolo solo para acomodarlo y hasta un grado tal que no se rompiera la estructura del material, esta capa se colocó con objeto de dar la pendiente necesaria así como para drenar la estructura del terraplén.

Una vez colocado el relleno aligerado se colocó la capa subrasante con un espesor constante de 30 cm. colocada en dos capas de 15 cm. compactadas al 85% Proctor, es en esta capa donde deben colocarse los drenes que ayudan a la capa de tezontle a desalojar el agua y es donde se dan las pendientes de proyecto.

Sobre la subrasante se coloca la subbase compuesta de grava cementada con un espesor de 20 cm. compactada al 95% de la prueba Proctor estándar, la zona en la que debe localizarse la granulometría de ésta, se marca en la figura 6.1., con el número 1.

Sobre la subbase se coloca la base de grava controlada con un espesor de 15 cm. compactada al 100% de Proctor, la grava controlada deberá encontrarse dentro de la zona 2 de la figura 6.1.

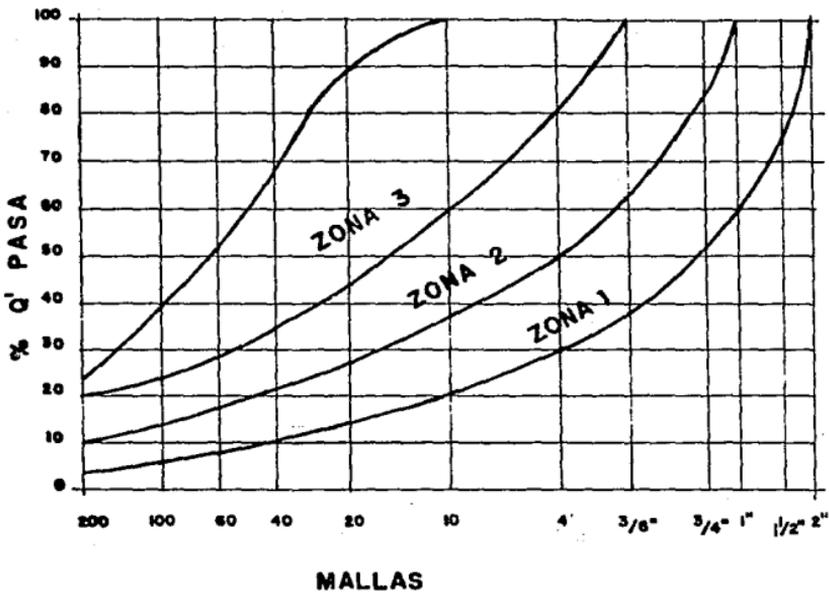
En la colocación de la base y subbase se tenían tolerancias de 1 cm. respecto a los espesores de proyecto siendo la subbase y el relleno aligerado los que asumían estas diferencias.

La capa superior a la base es un riego de impregnación colocado a la superficie totalmente seca y barrida, éste tiene por objeto ligar la base y la carpeta asfáltica, trataba de colocarse durante las horas más calurosas del día para evitar que su temperatura bajara, se regaba mediante cepillos y se dejaba por espacio de 24 horas para tener la absorción adecuada, la penetración del riego en la base debía ser de 4 mm. como mínimo y se verificaba mediante calas en sitio.

Después de 24 horas de colocado el riego de impregnación se colocaba el de liga, éste se colocaba mediante cepillos o mediante una pipa con aspensor y transcurridos 30 min. a partir de su colocación se colocaba la carpeta asfáltica formada mediante concreto asfáltico hecho en planta que se colocaba en una capa de 7 cm. compactada al 95% de Proctor.

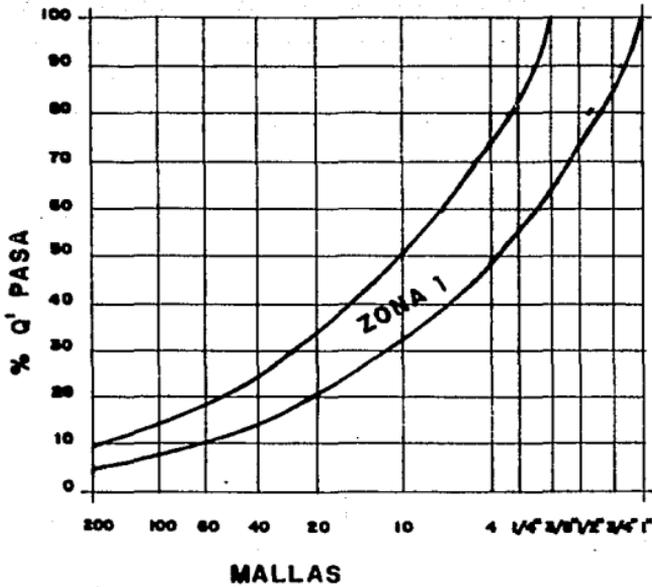
Inmediatamente llegado el asfalto a la obra, se colocaban termómetros para verificar que la temperatura de colocación del concreto asfáltico fuera de cuando menos 120 grados centígrados, si cumplía se colocaba en la asphaltadora, tras ésta se encontraba el vibrocompactador el cual lograba una compactación en caliente del 95% Proctor.

Los agregados para la carpeta asfáltica debían ser triturados cuya granulometría debía encontrarse dentro de la zona marcada en la figura 8.2.



**CURVAS GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES  
DE BASE Y SUB-BASE**

FIGURA 5.1



**CURVAS GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES  
PETREOS DE MEZCLA ASFALTICA**

FIGURA 6.2

Los pavimentos bajo el puente tuvieron un proceso similar al de los anteriores, éste se encuentra formado por:

- Capa de nivelación.
- Subbase.
- Firme de mortero.
- Superficie de rodamiento de adocreto.

La capa de nivelación tiene por objeto nivelar y conformar el terreno para posteriormente construir las subsecuentes capas sin variación en su espesor.

En esta capa se alojaron las instalaciones de servicio público y se darán las pendientes de proyecto. su espesor será variable y se compone de material limo-arenoso compactado al 95% de Proctor en capas de 15 cm, para desplantar esta capa debieron retirarse todos los materiales sueltos que pudieran causar un comportamiento anómalo del pavimento.

Sobre la capa de nivelación se colocó la subbase compuesta de grava controlada con un espesor constante de 15 cm. colocada en una sola capa y compactada al 95% de Proctor, la granulometría del material debía estar contenida dentro de la zona 2 de la figura 6.3.

Con el propósito de recibir al adocreto se colocó una capa de mortero seco cemento-arena con un espesor de 7 cm. con una proporción de 1:7 siendo la arena de granulometría media a fina.

## CURVAS GRANULOMETRICAS

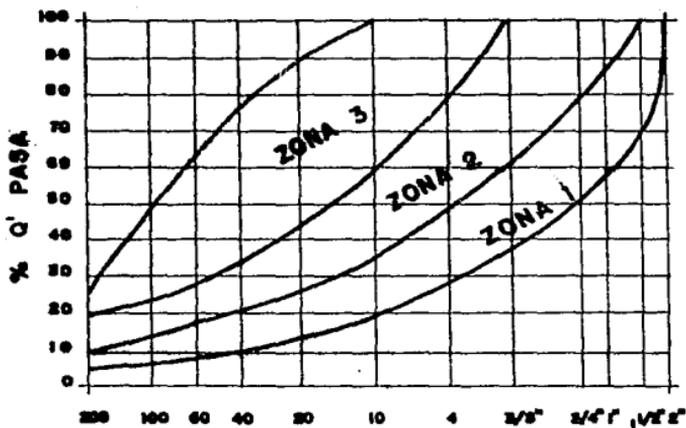
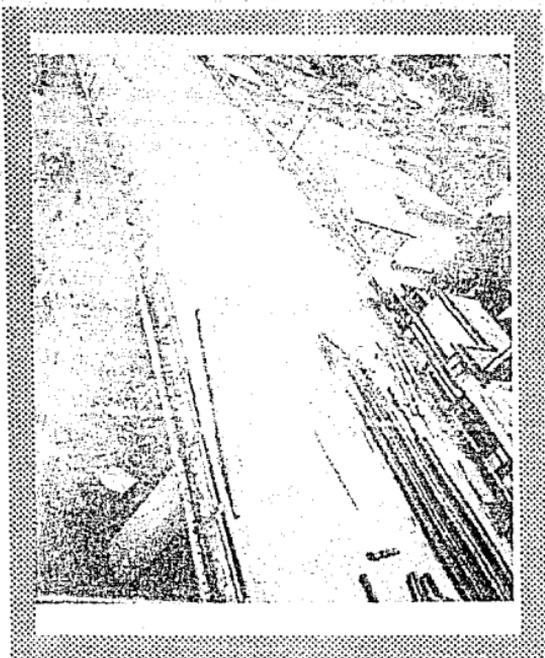


FIGURA 6.3 CURVAS GRANULOMETRICAS PARA BASES Y SUBBASES.

Se colocó una capa de adocreto acomodada sobre el mortero seco con un espesor de 8 cm. en promedio y una resistencia de 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

Antes de colocar el mortero debían realizarse las guarniciones que lo confinarían para evitar demoliciones posteriores. En la figura 0.4 se muestra tanto la zona bajo el puente como el pavimento sobre el acceso al mismo.



**FIGURA 6.4**

**PAVIMENTO SOBRE EL PUENTE Y ZONA ADOQUINADA  
EN LA PARTE BAJA.**

## CONCLUSIONES.

El procedimiento constructivo del puente vehicular de Emiliano Zapata y Tlalpan, se formó mediante colados en sitio y elementos prefabricados. Dicho procedimiento se basó en las exigencias de la obra que entre otras fue la más importante no interrumpir definitivamente el flujo vehicular y el funcionamiento de la línea Dos del Sistema de Transporte Colectivo Metro en calzada de Tlalpan.

Con el procedimiento utilizado se abatieron tiempos en programa constructivo comparado con los colados en sitio en su totalidad, lo que trajo como consecuencia una disminución a más corto plazo de las horas-hombre perdidas en dicho cruce.

Durante el procedimiento constructivo del puente, se contó con una estricta supervisión del proyecto especialmente en la ubicación de la cimentación y en las dimensiones y pendientes de las trabes ya que la variación admisible para que las trabes no presentaran problemas a la hora del montaje fue de más o menos 2 cm.

Con el propósito de brindar seguridad al peatón se colocaron escaleras en ambos lados de calzada de Tlalpan y se construyó una plazoleta adoquinada bajo el puente para brindar privacidad a éste y a los vecinos.

## BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION AL CONCRETO PRESFORZADO.

A. H. ALLEN.

IMCYC.

MEXICO 1979

ESTUDIO DE CIMENTACIONES.

SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS.

MEXICO 1980

INFORMES MENSUALES DE OBRA.

DGOP.