



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

116  
2E5

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL  
PASO A DESNIVEL PALMAS-PERIFERICO.

FALLA DE ORIGEN

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
NORMA CONCEPCION MUÑOZ SANCHEZ

DIRECTOR: M. EN ING. JORGE GARCIA JURADO REBORA

MEXICO, D.F.

1995

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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Señorita  
**NORMA CONCEPCION MUÑOZ SANCHEZ**  
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-073/93

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. JORGE GARCIA JURADO REBORA** que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL PASO A DESNIVEL  
PALMAS-PERIFERICO"**

- INTRODUCCION**
- I. JUSTIFICACION DE LA OBRA**
  - II. CIMENTACION**
  - III. RAMPA DE ACCESO**
  - IV. ARMADO Y COLADO DE COLUMNAS**
  - V. FABRICACION DE ELEMENTOS PRESFORZADOS**
  - VI. ELEMENTOS DE CONEXION Y ACCESORIOS DE APOYO**
  - VII. MONTAJE Y NIVELACION DE TRABES**
  - VIII. PROYECTO DE OBRAS EXTERIORES**
  - IX. PROBLEMAS DURANTE LA CONSTRUCCION Y CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 20 de enero de 1994.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR\*nl

**Este trabajo lo dedico con todo mi amor a todos aquellos que han dado la inspiración y seguridad para mi formación integral, como humano, como mujer y como estudiante.**

**Agradezco a mis padres, la confianza, el apoyo, el cariño y el interés que me han brindado en todos los aspectos de mi vida, y ahora que culmina una de las etapas de mi trayectoria de estudiante les doy un abrazo por que también es un logro suyo**

**Francisco Muñoz Loyo  
María Teresa Sánchez Ugalde**

**GRACIAS**

**A mis hermanos les agradezco su respeto, su apoyo y cariño incondicional**

**Tere, Adriana y Pancho**

**GRACIAS**

A mi novio Gerardo Orellana Suárez  
por el gran cariño, confianza,  
apoyo e interés que ha mostrado en todo momento,  
que ha sido de gran ayuda en mi realización  
personal.

A Javier Carmona Jiménez por su apoyo  
tan valioso para la impresión de este trabajo.

Gracias a todos mis familiares, amigos  
y a la Constructora Tarmac, S.A. de C.V.  
que son parte importante de este logro.

A la máxima casa de estudios  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO,**  
a la Facultad de Ingeniería  
y a todos los profesores  
que intervinieron en mi formación académica  
agradezco su gran apoyo  
y la oportunidad de conocer  
y aprovechar todos sus beneficios.

Agradezco a mi director de tesis  
M. en Ing. Jorge García Jurado Reborá  
su interés en mi superación.

A todas las personas que hicieron posible éste  
trabajo, contribuyendo con fuentes de información  
y con persistentes estímulos. Gracias a:

Ing. Angel Almanza Ruiz  
Ing. José Ramón Miñaur

y en especial al Ing. Juan Manuel Ortega Corpus  
por la gran amistad que ha surgido a raíz del  
interés mostrado en mi trabajo y por su optimismo  
en el deseo de superación.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1.- JUSTIFICACION DE LA OBRA</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPITULO 2.- CIMENTACION</b> .....	<b>9</b>
2.1) CIMENTACION PROFUNDA	
2.2) CIMENTACION SUPERFICIAL	
2.3) RAMPA DE ACCESO	
2.4) EXCAVACIONES	
<b>CAPITULO 3.-RAMPA DE ACCESO</b> .....	<b>29</b>
3.1) MUROS LATERALES	
3.2) MURO ESTRIBO	
3.3) RELLENO	
<b>CAPITULO 4.- ARMADO Y COLADO DE COLUMNAS</b> .....	<b>39</b>
4.1) ARMADO	
4.2) CIMBRADO	
4.3) COLADO	
4.4) NIVEL DE ALTURAS DE COLUMNAS	
<b>CAPITULO 5.- FABRICACION DE ELEMENTOS PRESFORZADOS</b> .....	<b>54</b>
5.1) SITIO Y PROGRAMA DE FABRICACION	
5.2) COLOCACION DEL ACERO	
5.3) PRESFUERZO	
5.4) COLADO	
5.5) TRANSPORTE A OBRA	
<b>CAPITULO 6.- ELEMENTOS DE CONEXION Y ACCESORIOS DE APOYO</b> .....	<b>75</b>
<b>CAPITULO 7.- MONTAJE Y NIVELACION DE TRABES</b> .....	<b>86</b>
7.1) TRABES DE APOYO	
7.2) TRABE CENTRAL	
7.3) UNION DE TRABES	
7.4) PRESFUERZO EN APOYO DE TRABES	
7.5) FIRME ESTRUCTURAL	
<b>CAPITULO 8.- PROYECTO DE OBRAS EXTERIORES</b> .....	<b>109</b>
8.1) PAVIMENTACION	
8.2) ALUMBRADO	
8.3) ALCANTARILLADO	
<b>CAPITULO 9.- PROBLEMAS DURANTE LA CONSTRUCCION Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>122</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>133</b>

## INTRODUCCION

El plan de vialidades en el Distrito Federal, contempla la solución de puntos conflictivos, que por el acelerado incremento de automotores, se convierten en prioritarios. Debido a lo anterior, las autoridades se han visto en la necesidad de modificar el sistema vial existente.

Dentro de las acciones que establecen éstos planes está la solución de los conflictos viales en el cruce de las laterales del Anillo Periférico (nor-poniente) y la Avenida Paseo de las Palmas que presenta características físicas y operacionales tales que la demanda actual registrada denuncia la urgente necesidad de transformarlo, para poder satisfacer las demandas actuales y futuras que se plantearán con el acelerado crecimiento de ésta zona de la ciudad.

La Dirección General de Obras Públicas, licitó públicamente la construcción del puente elevado, que permite resolver el problema del congestionamiento vial que se presenta en ésta intersección, el proyecto lo realizó la compañía Rioboo y Asociados, ocupándose de la construcción la compañía Ingenieros Civiles Asociados (ICA).

Las características técnicas del proyecto son las siguientes:

- Para la construcción del puente en cuestión, fue necesaria la adquisición de 2,290.00 m<sup>2</sup> de terrenos, incluyendo a cuatro predios baldíos.
- El cuerpo principal, estructurado a desnivel, cuenta con una sección transversal de 16.50 m y longitud de 447.50 m, tiene pendiente longitudinal del 5.5%; alberga dos carriles de circulación con sección de 7 m por sentido, comunicando en forma directa la Av. Paseo de las Palmas con la Av. FC de Cuernavaca en ambos sentidos.
- Dos gazas, que se desincorporan del cuerpo principal; la primera con longitud de 240.20 m, y sección transversal de 7 m, comunicando directamente en el sentido poniente-orientado hacia la Av. Presidente Masarik; y la segunda permitiendo la incorporación a nivel al Anillo Periférico hacia el sur, con longitud de 222.50 m con la misma sección transversal.
- Así mismo se realizaron adecuaciones a 7,112.0 m<sup>2</sup> y la construcción de 7,500.0 m<sup>2</sup> de vialidades a nivel que permiten satisfacer la demanda de movimientos direccionales de los usuarios y vecinos de la zona.

## INTRODUCCION

Además, se incluyeron en el desarrollo de la obra, dispositivos para el control de tránsito, alumbrado público y acabados para su óptimo funcionamiento.

El objetivo principal del presente trabajo es describir de manera exhaustiva y detallada, cada una de las características que permitieron el desarrollo del proceso constructivo del paso a desnivel antes mencionado.

Se considerarán todos los aspectos comprendidos en la construcción de una obra vial, desde los elementos que justifican la creación de la obra, hasta la culminación de la misma, sin abordar aspectos económicos.

**NOTA:** Todas las acotaciones en las figuras de este trabajo aparecen en centímetros.

## CAPITULO 1 - JUSTIFICACION DE LA OBRA

Uno de los problemas actuales de la Ciudad de México que requiere de una especial y rápida atención es el de la vialidad ya que el incremento acelerado en la cantidad de vehículos automotres obliga a la población a transformarse sin darse cuenta, junto con la metrópoli.

Actualmente, en materia vial se han iniciado proyectos para solucionar los conflictos que se generan en las intersecciones más transitadas de la ciudad, sustituyéndolos por distribuidores viales (que pueden o no incluir pasos a desnivel).

El distribuidor vial construido en la intersección de Avenida de las Palmas y Anillo Periférico, pretende satisfacer las demandas del flujo vehicular actual y futuro que circula por la zona comprendida entre las Lomas de Chapultepec y la colonia Polanco. El horizonte temporal bajo el cual fue diseñado y construido es de 10 años.

Con este distribuidor se buscó mejorar el nivel de servicio de la intersección de la siguiente forma: se redujeron las colas de vehículos en la intersección, así como los tiempos de demora de los usuarios, minimizando la pérdida de horas-hombre, reduciendo un poco la contaminación producida por los vehículos detenidos, y mejorando los tiempos de recorrido a través de la zona al cruzar con circulación continua a desnivel en la dirección oriente-poniente sobre el Anillo Periférico; además, el tráfico sobre sus laterales es más fluido, evitándose el bloqueo de los vehículos que circulan por los carriles centrales.

La justificación de la obra se basó en un estudio de capacidad de la intersección, para cuyo análisis se utilizaron aforos direccionales durante todo un día, subsecuentes aforos durante los períodos pico, medición de tiempos de semaforización, análisis de las fases, y la obtención de parámetros de decisión tales como la relación volumen capacidad, longitud de colas, tiempos de demora y nivel de servicio de cada uno de los movimientos de la intersección.

Se estableció, con base en estudios de intersecciones similares, un flujo de saturación por carril de 1,800 vehículos por hora (vph), por lo que, sobre Paseo de la Palmas, se contaba con una capacidad de 5,400 vph en sus tres carriles para cada dirección, y sobre la lateral de Anillo Periférico, 3,600 vph para sus dos carriles en cada uno de los sentidos.

Una vez hechos los aforos direccionales y los análisis correspondientes, se llegó a los siguientes resultados:

## JUSTIFICACION DE LA OBRA

- La intersección, en el sentido poniente-oriente, tiene un nivel de servicio "E", ocasionando longitudes de colas hasta 120 metros (cerca de 20 vehículos) por carril en horas pico, su relación volúmen/capacidad (v/c) es de 0.94.

- En el sentido oriente-poniente, la relación v/c es de 1.02, arrojando por tal motivo un nivel de servicio "F" y longitudes de colas de hasta 180 metros por carril (aproximadamente 30 vehículos).

- En los sentidos norte-sur y sur-norte, la relación v/c excede la unidad, dando un nivel de servicio "F", y colas de hasta 150 metros de longitud (cerca de 25 vehículos).

En la figura 1.1 se presenta la situación original de la intersección y en la figura 1.1a se simplifica la intersección para fines de modelación por computadora. Así mismo, se presentan los aforos en hora pico cada una de las direcciones posibles. No se considera el flujo de los carriles centrales del Anillo Periférico.

En todos los casos, se realizó una simulación modificando los tiempos y fases de los ciclos de semáforos, no siendo posible el que los parámetros anteriormente descritos disminuyeran. Es por esta causa que se tomó la decisión de construir el paso a desnivel.

Ahora bien, el proyecto de esta intersección está basado en la selección de la mejor alternativa de diseño geométrico para su óptima operación; el proyectista realizó un proyecto condicionado a la demanda del tráfico, a la topografía, al uso del suelo, a consideraciones económicas y sobre todo, a la necesidad del mejoramiento del medio ambiente.

El proyecto contempla su capacidad vial en un cuerpo principal, formado por un puente que cruza el Anillo Periférico, en sus carriles laterales y centrales, así como por el movimiento del oriente que viene por avenida Presidente Masarik hacia el norte, o también el que va del poniente por la Avenida Paseo de las Palmas.



FIGURA 1.1 - SITUACIÓN ORIGINAL DE LA INTERSECCIÓN.

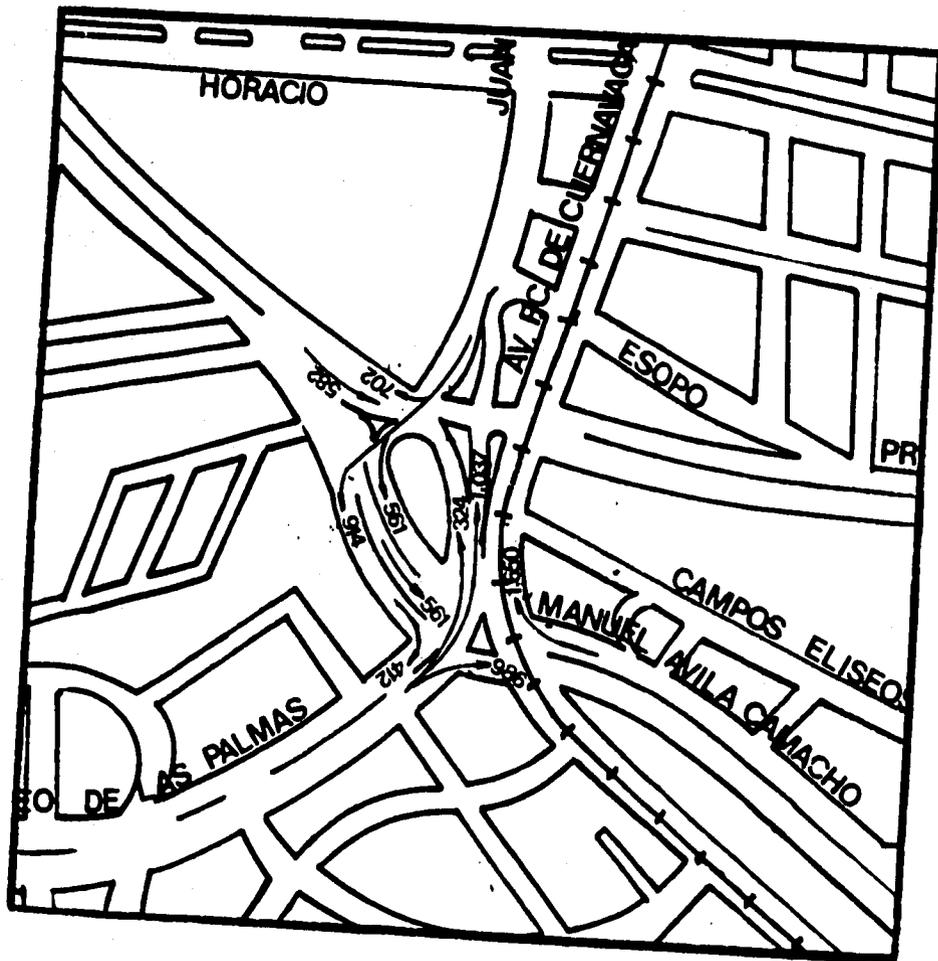


FIGURA 1.1A- AFOROS VEHICULARES.

## JUSTIFICACION DE LA OBRA

Las características de diseño son las siguientes:

1. Velocidad de operación de 70 Km/h
2. Dos carriles por sentido para un total de 4
3. Carriles de 3.50 m de ancho
4. Pendiente máxima de 5.5 %
5. Estructura de traveses prefabricadas con claro máximo de 37.13 m
6. Columnas circulares, coladas en sitio
7. Cimentación profunda con pilas
8. Movimientos directos por 2 gazas que se ligan al puente principal con un carril de 5.50 m de ancho con posibilidad de rebase
9. Programa de obra de acuerdo al proyecto

JUSTIFICACION DE LA OBRA

PARTIDAS	1992															
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
TRABAJOS PREELIMINARES																
OBRAS INDUCIDAS																
SEÑALAMIENTO PREVENTIVO																
DESVIOS Y ADECUACIONES VIALES																
TRAZO Y NIVELACION																
CIMENTACION																
1 EXCAVACIONES																
2 ARMADO Y COLADO DE PILAS																
3 ARMADO Y COLADO DE ZAPATAS																
4 RELLENOS																
ESTRUCTURA																
1 ARMADO Y COLADO DE COLUMNAS																
1 ARMADO Y COLADO DE MUROS DE CONTENCION																
1 ARMADO Y COLADO DE MUROS ESTRIBO																
4 FORMACION DE TERRAPLENES																
SUPERESTRUCTURA																
1 FABRICACION Y TRANSPORTE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS																
2 COLOCACION DE ELEMENTOS DE SOPORTE PARA TRABES TA																
3 MONTAJE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS																
4 ARMADO Y COLADO DE DIAFRAGMAS																
5 POSTENSADO DE DIAFRAGMAS																
6 ARMADO Y COLADO DE FIRME DE COMPRESION																
OBRAS COMPLEMENTARIAS																
PAVIMENTACION																
DRENAJE																
ALUMBRADO																
SEÑALAMIENTO DEFINITIVO																

PROGRAMA DE OBRA

## CAPITULO 2 - CIMENTACION

La cimentación en una estructura tiene por objeto recibir las cargas vivas, muertas y accidentales, que bajen a través de ella y transmitir las al suelo soportante. Dicha cimentación debe quedar desplantada en un terreno firme y protegida de la acción de agentes externos a suficiente profundidad para resguardarla de erosiones y deslizamientos del terreno circundante.

La selección de la cimentación está en función de las cargas a transmitir y de la capacidad de carga del suelo para soportarlas. Para la determinación de la capacidad de carga del suelo, fue necesario hacer un estudio de mecánica de suelos de ese sitio. Dicho estudio consistió en la perforación de pozos a cielo abierto y sondeos de penetración estándar. A continuación se describe cada uno de ellos.

Los pozos a cielo abierto son excavaciones que se hacen con pico y pala, de 2 x 2 m de sección y profundidades pequeñas, en éste, de 3 mts, por medio de las cuales es posible reconocer directamente el perfil estratigráfico del lugar hasta la profundidad de excavación, así como las características de cada uno de los estratos. (Figura 2.1). También permite tomar muestras cúbicas (30 cm por lado) de cualquier profundidad o del fondo del pozo; a éstas muestras cúbicas, se les considera inalteradas, ya que en el campo se les cubre inmediatamente con manta de cielo y brea, para evitar que pierdan humedad, en el laboratorio se labran hasta sacar del centro un cilindro, que es el que se prueba.

Este procedimiento es lento y cuando la excavación debe ser profunda, es caro, por lo que solamente se emplea para estudios someros, en materiales que permiten la excavación con pico y pala.

El sondeo de penetración estándar consiste en el hincado a golpes de un muestreador de forma tubular llamado penetrómetro estándar, con un martinete de 63.5 kg cayendo desde una altura de 76 cm.

El fondo del pozo en el que se realiza la prueba debe ser previamente limpiado de manera cuidadosa. Se hince entonces el penetrómetro 15 cm en el suelo. A partir de este momento, se empiezan a contar los golpes necesarios para lograr una penetración adicional de 30 cm. Finalmente se hince el penetrómetro 15 cm más antes de retirarlo y de remover de su interior la muestra alterada obtenida. Contando el número de golpes dados y la longitud del penetrómetro que se hincó, se calcula el trabajo de penetración y se refiere a una gráfica para conocer la resistencia a la penetración del estrato correspondiente a la penetración.

PROYECTO: Puente Palmas

NAF: No definido

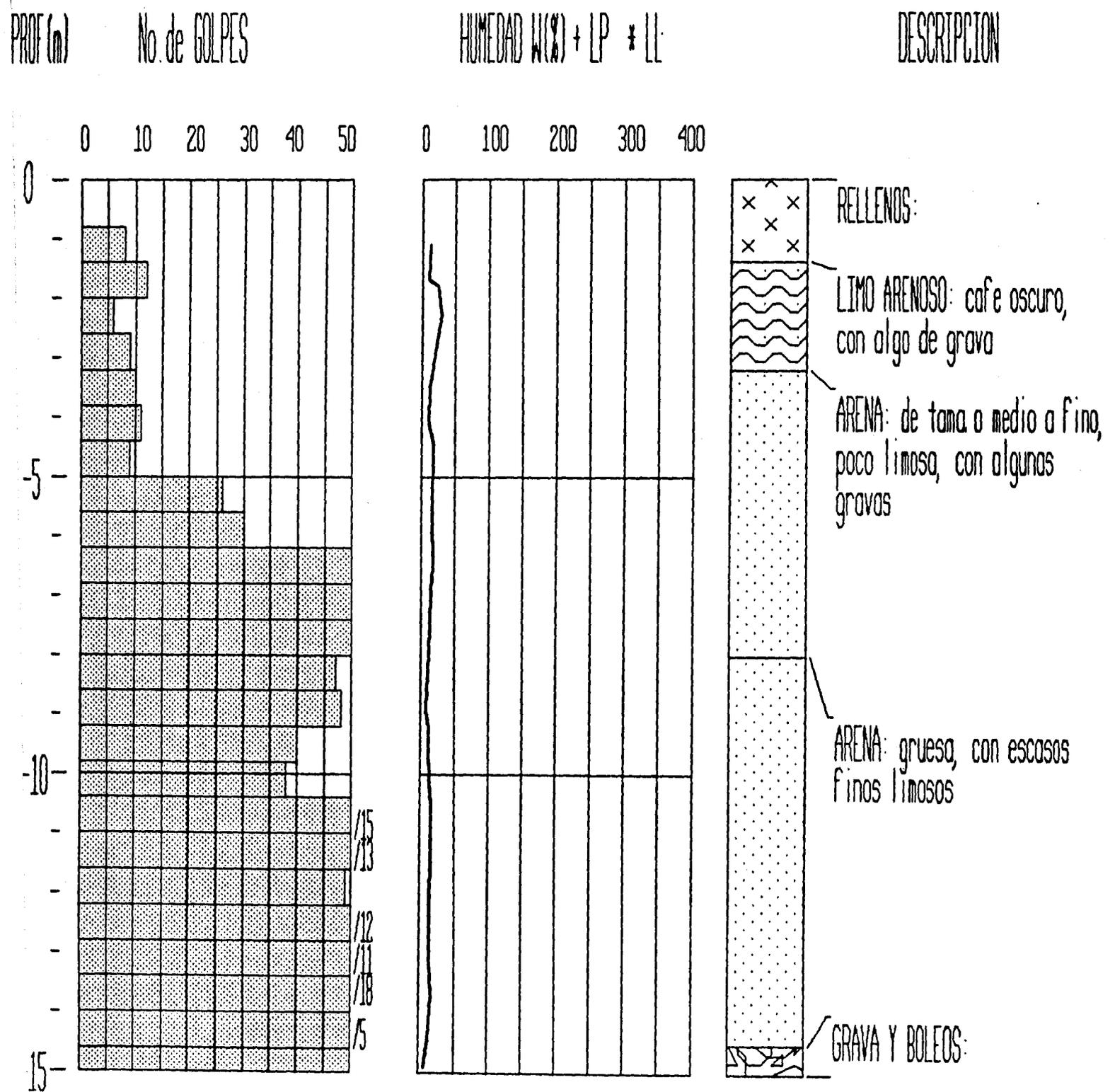


FIGURA 2.1.- PERFIL ESTRATIGRAFICO

Para el estudio del puente Palmas-Periférico, se excavaron 3 pozos a cielo abierto y 5 sondeos de penetración estandar, separados entre sí aproximadamente 80 m. (Figura 2.2).

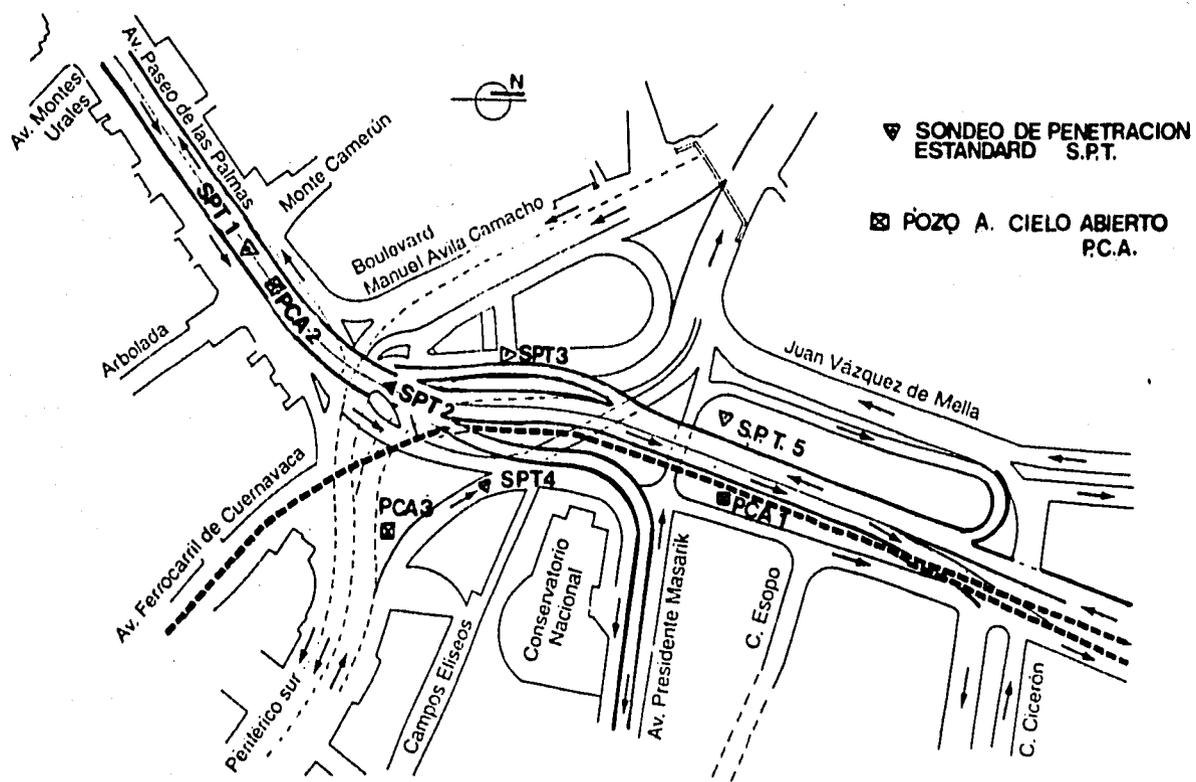


FIGURA 2.2.- LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

## CIMENTACION

A partir de las exploraciones se dedujo que en esa zona de la Ciudad de México, el suelo está formado básicamente por material friccionante, se encuentra material cohesivo en la superficie (0 a 5 m de profundidad) como limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas. A partir de esa profundidad (más de 5m) se encuentran rocas sedimentarias tales como calizas, areniscas, arena gruesa, con escasos finos limosos, grava y boleos.

El lugar en que se ubica el puente es el inicio de la zona de lomas, cuyo principal problema es el de la existencia de minas de arena. El estudio de mecánica de suelos reveló la ausencia de éstas minas en el área del puente, encontrándose suelo arcilloso de baja compresibilidad con material friccionante medianamente clasificado el cual ofrece resistencia adecuada a la compresión, no obstante, hubo la necesidad de construir pilas.

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos se propusieron dos tipos de cimentación en este puente: profunda, que consiste en pilas que trabajan a fricción y la superficial, en zapatas aisladas. (Figura 2.3).

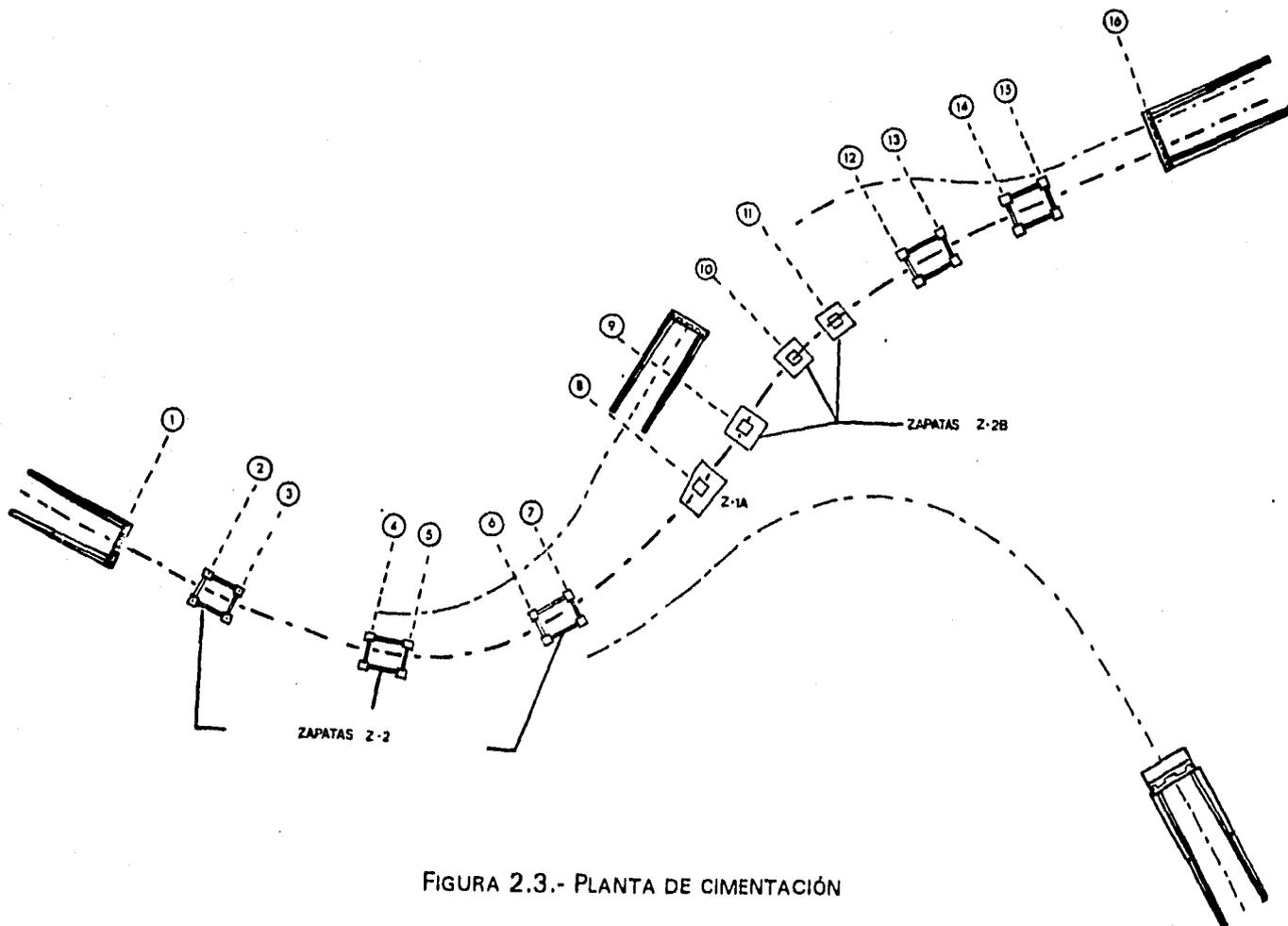


FIGURA 2.3.- PLANTA DE CIMENTACIÓN

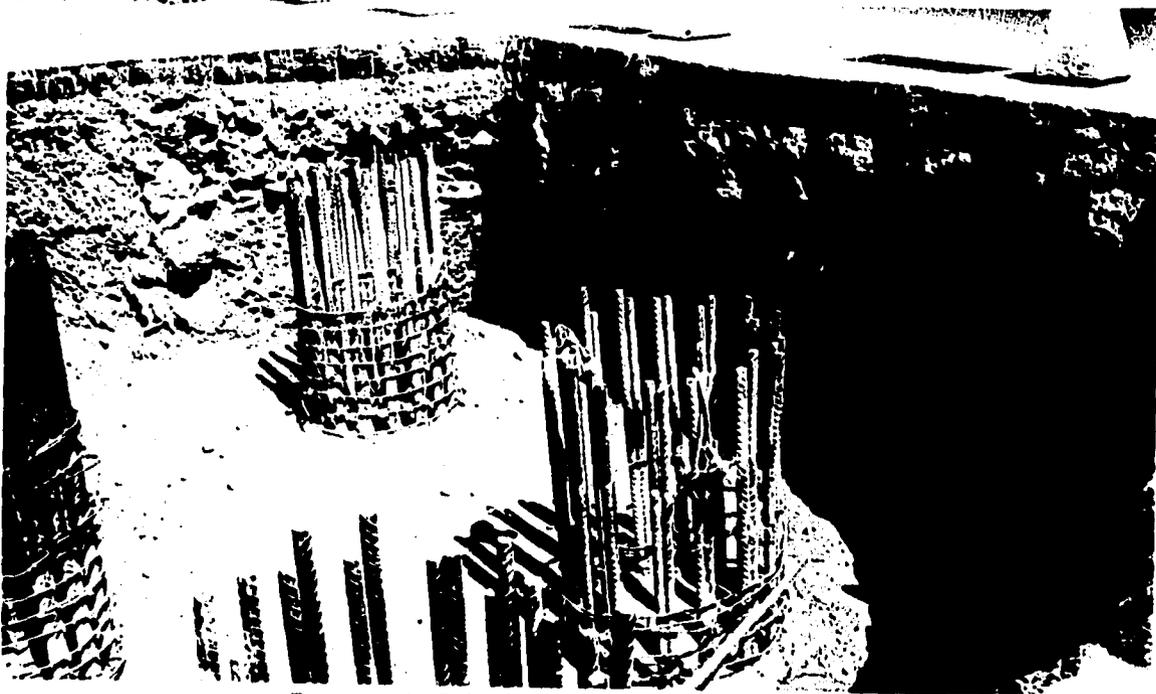
## 2.1) CIMENTACION PROFUNDA

Este tipo de cimentación se utiliza para transmitir las cargas de una estructura a estratos más resistentes que los mantos superficiales. Las cimentaciones profundas emplean elementos de tres tipos: pilotes, pilas y cajones profundos.

Los elementos utilizados en este puente fueron pilas fabricadas con concreto armado de resistencia  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , el tamaño máximo del agregado grueso de  $3/4''$  y revenimiento máximo de 10 cm. Fueron armadas con acero de refuerzo  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

Las pilas trabajan a fricción, esto es, por medio de la adherencia existente entre el suelo y las pilas, se reparte la carga que es transmitida por la estructura; en otras palabras, el elemento está totalmente ahogado en el suelo de modo que su resistencia proviene total o casi totalmente de la adherencia que desarrolla la fricción entre el suelo y la pila. Estas pilas alcanzan profundidades no sujetas a erosión y proporcionan anclaje a los elementos estructurales.

El diámetro de cada una de estas pilas es de 1 m con una profundidad de 11 m y las varillas principales de su armado se dejaron arriba del nivel de terreno natural aproximadamente 1 m para que este acero vertical quedara ahogado en el concreto de la zapata que se desplantó sobre cada una de ellas y así pudieran trabajar como un sólo elemento. (Fotografía 2.1). En su fabricación se utilizó cemento portland tipo II.



FOTOGRAFÍA 2.1.- PILAS DE CIMENTACIÓN

El acero de refuerzo principal de las secciones estuvo compuesto por 32 varillas del número 12 acomodadas por pares y zunchos del número 4 con separación de 10 cm, el recubrimiento mínimo fue de 5 cm. (Figura 2.4). El colado de las pilas se realizó en el sitio ya que como cimbra se utilizó al mismo terreno. Debido a las condiciones favorables del suelo, las perforaciones se llenaron directamente de concreto.

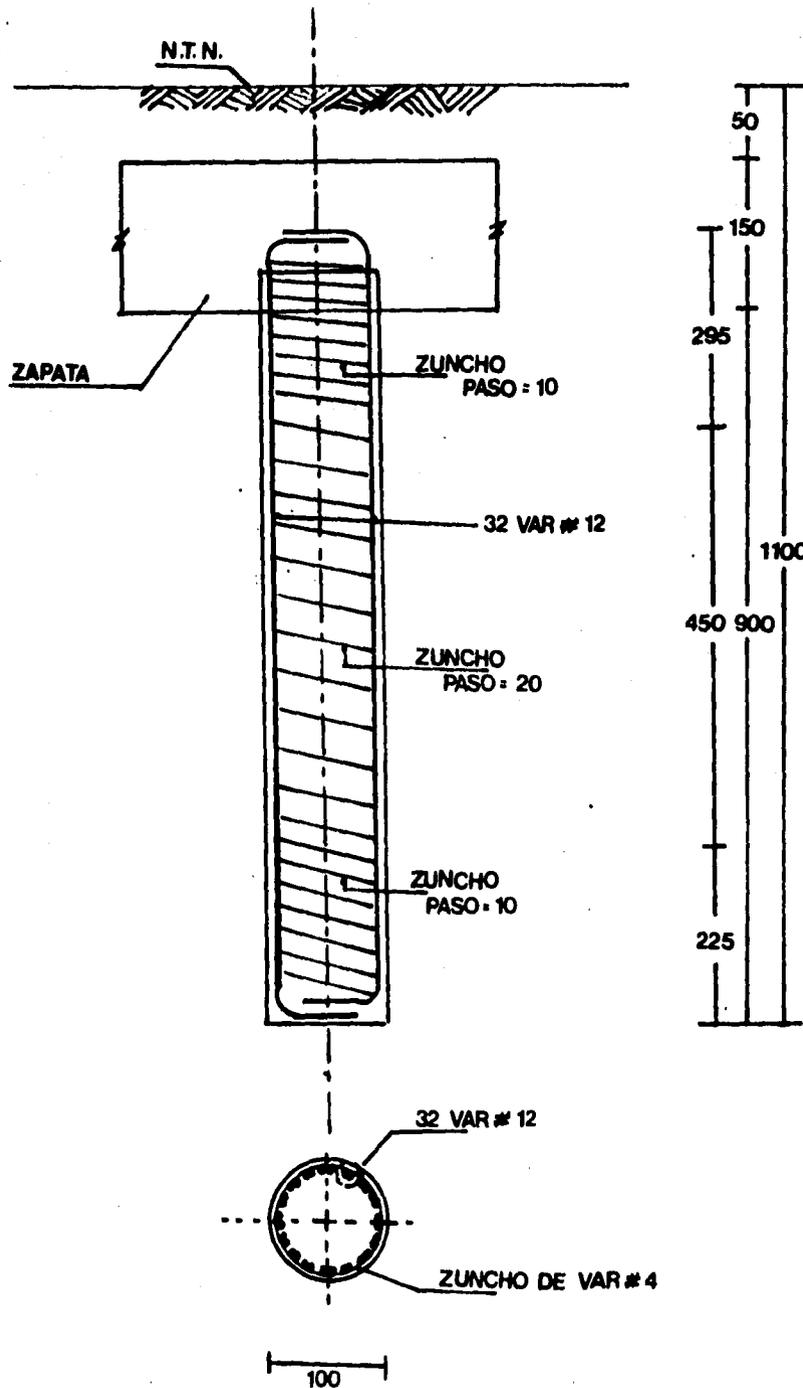


FIGURA 2.4.- ARMADO DE PILAS

La fabricación del concreto se llevó a cabo en plantas dosificadoras. Se utilizó un aditivo fluidizante, ayudando así a tener una buena penetración del concreto entre las paredes de la excavación y el acero, evitando la segregación perjudicial del cemento y el agregado en caso de que cayera contra los lados de la excavación. Debido a que el terreno es seco se dejó caer libremente el concreto desde la superficie del terreno, requiriendo vibración sólo en los 2 o 3 m superiores de la perforación, en los que el impacto del concreto al caer es inefectivo.

La perforación se hizo con maquinaria especial que proporciona el diámetro deseado, afinando la excavación. Se hace así porque las dimensiones de las pilas no permiten su hincado a golpes. Posteriormente se baja el acero de refuerzo ya armado y se inyecta el concreto de la pila.

## 2.2) CIMENTACION SUPERFICIAL

Para una cimentación superficial se considera una profundidad de desplante entre 0 y 6 metros, generalmente se utilizan losas de cimentación, zapatas corridas y aisladas.

La recepción de cargas concentradas que transmiten las columnas se hizo mediante zapatas aisladas (Z-1A, Z-1B y Z-2) (Ver Figura 2.3). Todas las zapatas fueron coladas después de las pilas.

La zapata Z-1A es única por sus características geométricas, es una figura irregular que sigue la forma que permitió el terreno, debido a la existencia del túnel del Periférico que atraviesa la antigua Avenida Palmas. (Figura 2.5). Se encuentra apoyada en seis pilas y soporta una columna circular (C-1) de 1.75 m de diámetro. Está armada en sus dos lechos (superior e inferior), longitudinal y transversalmente con paquetes de dos varillas del # 8 a cada 20 cm y estribos del # 4 a cada 20 cm, en las paredes de la zapata se tienen varillas del # 4 a cada 20 cm.

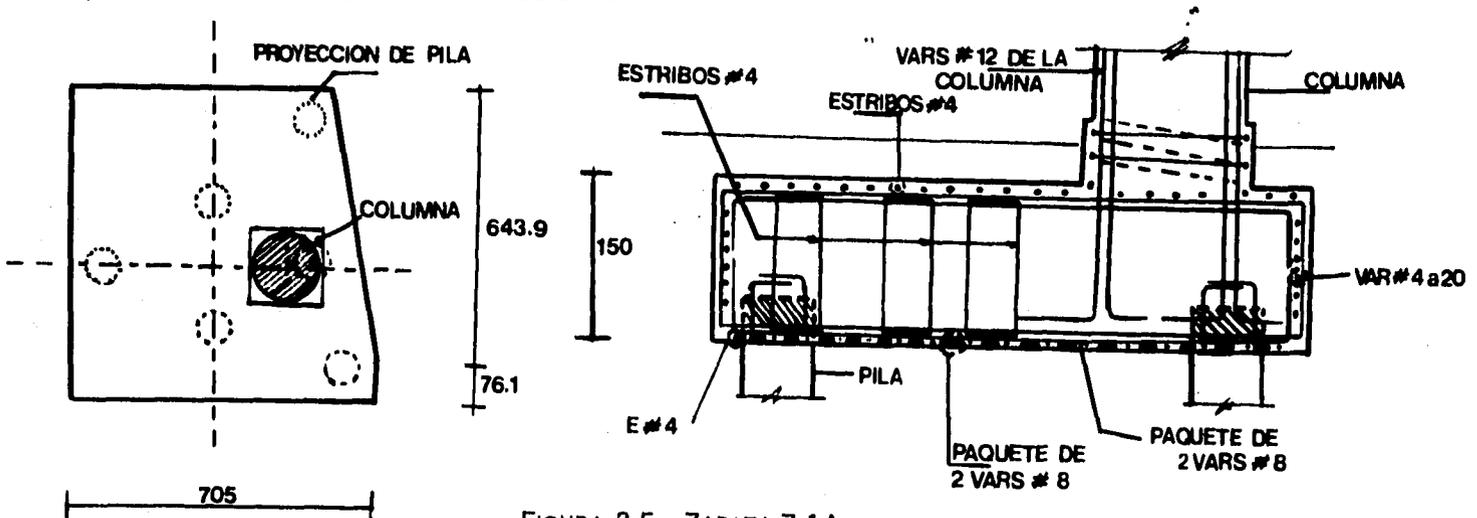
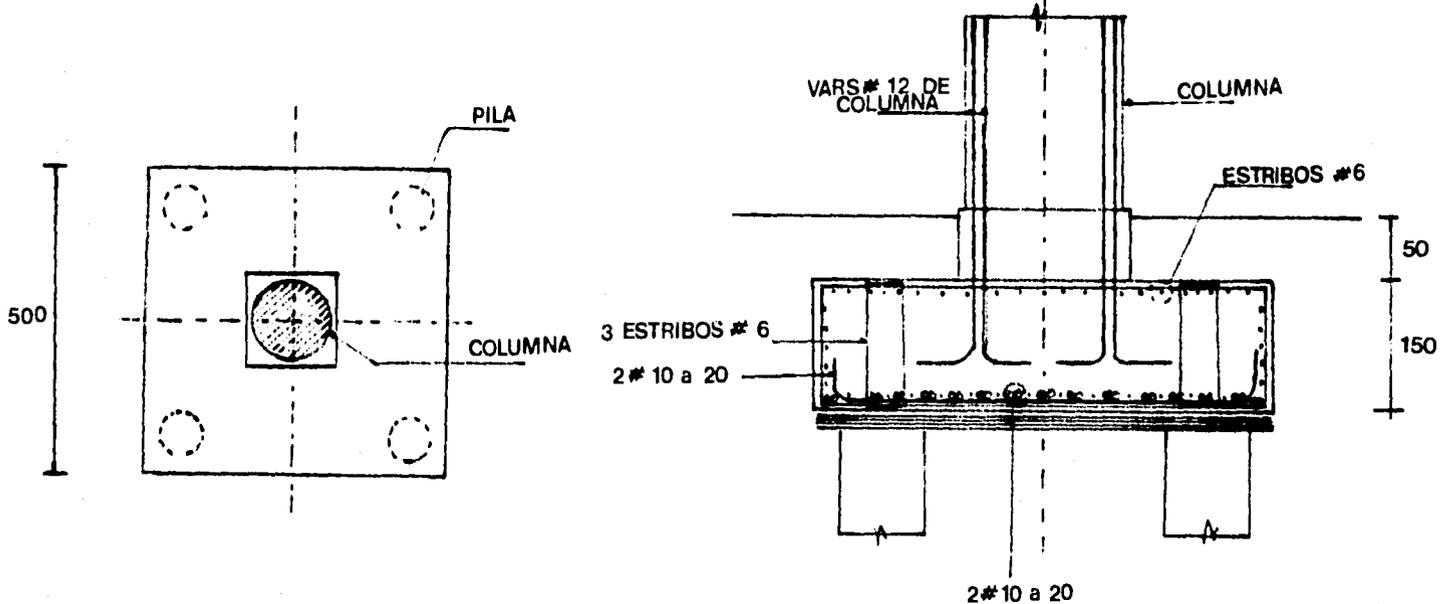
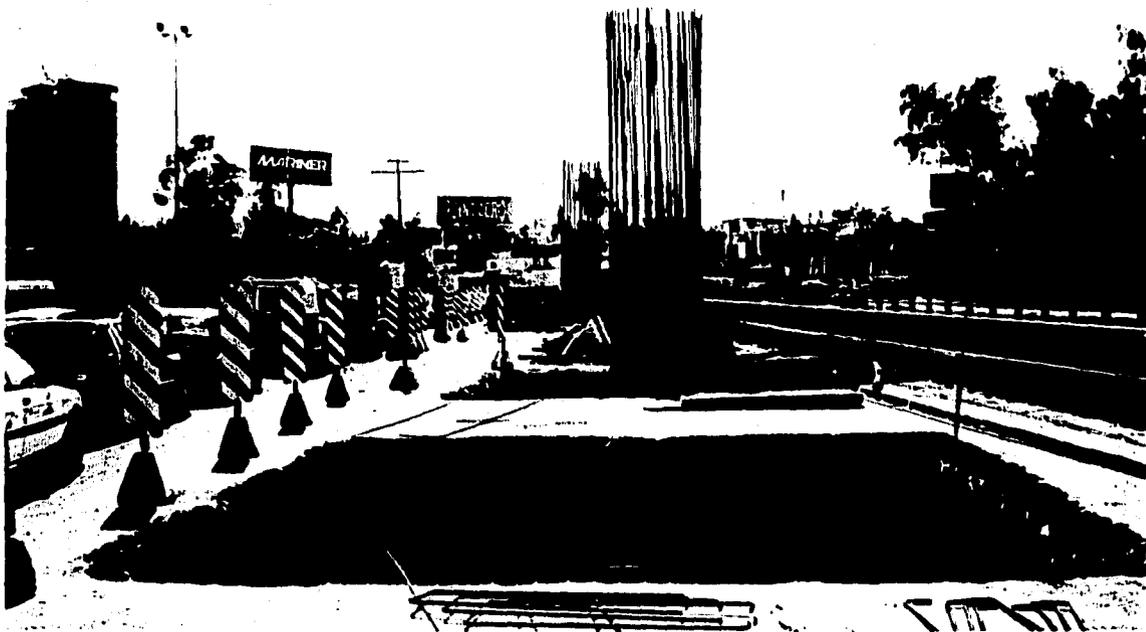


FIGURA 2.5.- ZAPATA Z-1A

La zapata Z-1B es una zapata cuadrada de 5.00 m por lado y 1.50 m de peralte. A lo largo del puente hay 3 zapatas de este tipo apoyadas cada una sobre cuatro pilas y soportando una columna C-1 de 1.75 m de diámetro cada una con su respectivo dado de 1.85 m en cada lado y 0.50 m de peralte. (Fotografía 2.2). Está armada en el lecho inferior, con paquetes de dos varillas del # 10 a cada 20 cm longitudinal y transversalmente, en los costados se tienen varillas del # 4 a cada 20 cm y se usaron estribos del # 6 longitudinal y transversalmente formándose con ellos una parrilla en el lecho superior de la zapata (Figura 2.6).



FOTOGRAFÍA 2.2 Y FIGURA 2.6.- ZAPATA Z-1B

## CIMENTACION

Las zapatas Z-2 soportan columnas C-2, son marcos formados por cuatro dados y cuatro contratraveses que ligan a cada una de estos. Para llegar al nivel de terreno natural se rellenó con tepetate compactando en capas de 0.10 m (Figura 2.7).

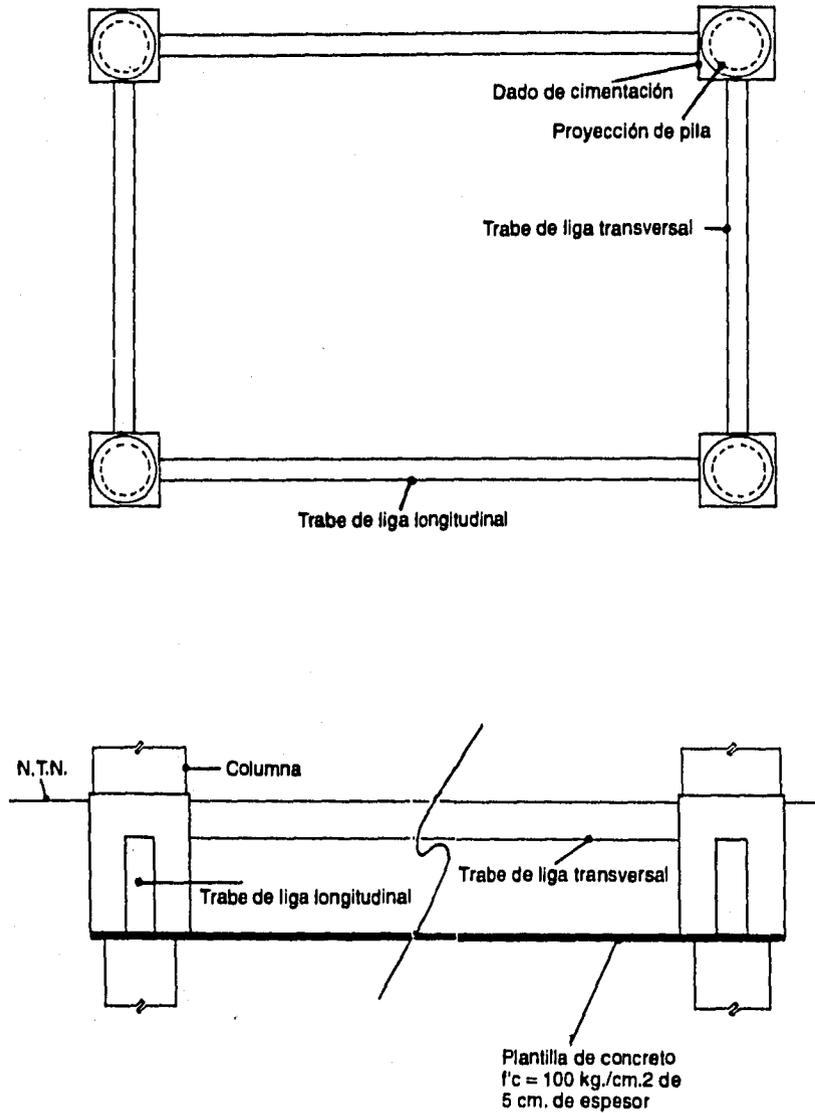


FIGURA 2.7.- ZAPATA Z-2

## CIMENTACION

Los dados tienen 1.80 m de altura y 1.40 m de lado, las contratraves tienen un peralte de 1.30 m y 0.40 m de ancho, dos de ellas paralelas de 13.00 m longitud y las otras dos de 8.30 m. Están armadas con acero de refuerzo  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  y coladas con concreto premezclado de resistencia  $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , revenimiento máximo de 10 cm y tamaño máximo del agregado grueso de  $3/4''$  (Fotografías 2.3 y 2.4).



FOTOGRAFÍAS 2.3 Y 2.4.- ZAPATA Z-2

El armado de las contratraves longitudinales en el lecho inferior se hizo con 10 varillas del número 10; en el lecho superior con cuatro varillas del número 10; en los costados con varillas del número 4 a cada 20 cm, todas amarradas con estribos interiores del número 4 a cada 30 y exteriores del número 4 a cada 20 cm.

Las contratraves transversales tienen un armado más sencillo, en los lechos superior e inferior con seis varillas del número 10 cada uno de ellos; en los costados con varillas del número 4 a cada 20 cm y estribos interiores del número 4 a cada 30 cm y exteriores del mismo diámetro pero con separación de 20 cm. (Figura 2.8).

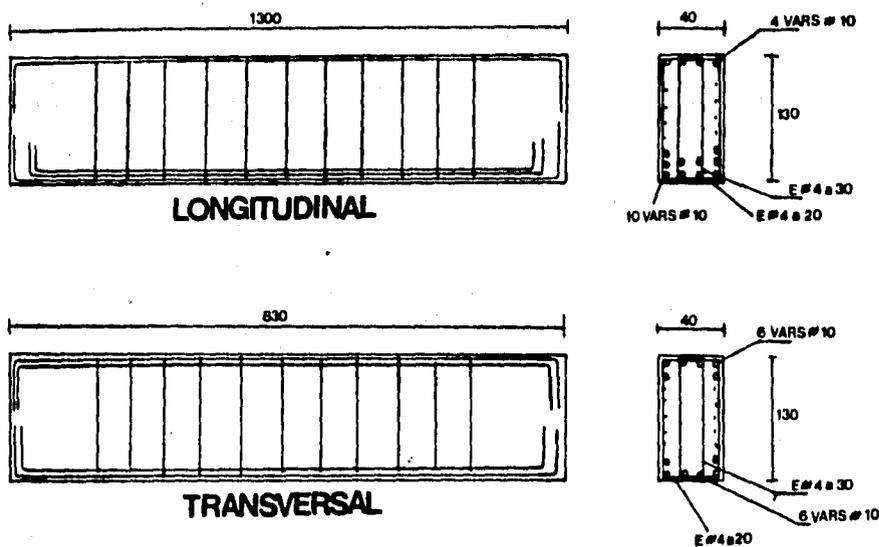


FIGURA 2.8.- ARMADO DE CONTRATRABES

### 2.3) RAMPA DE ACCESO

La rampa de acceso está compuesta por dos muros laterales y un muro estribo. Cada uno de los muros laterales tiene dos juntas constructivas y están divididos en tres tramos, apoyados en zapatas corridas que varían en cuanto a dimensiones y nivel de desplante (Figuras 2.9 y 2.10).

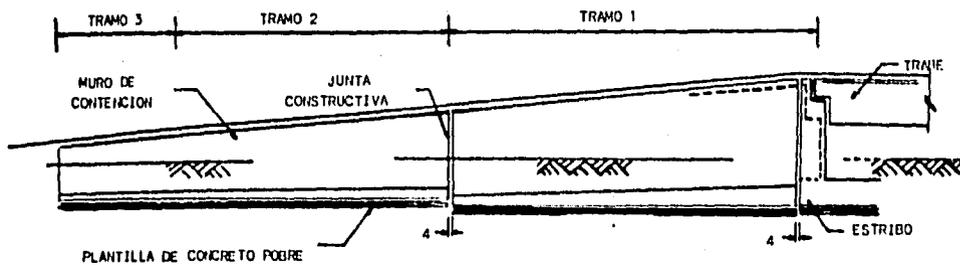


FIGURA 2.9.- ELEVACIÓN DE RAMPA DE ACCESO

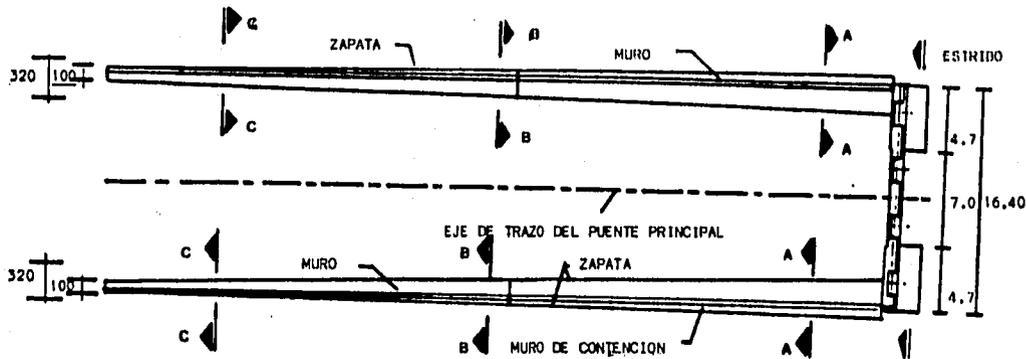


FIGURA 2.10.- PLANTA DE RAMPA DE ACCESO

Las zapatas de los muros laterales, en el tramo 1 se desplantaron entre 1.55 y 1.65 m debajo del Nivel de Terreno Natural (NTN), en el tramo 2 entre 1.25 y 1.35 debajo del NTN y en el tramo 3 entre 1.25 y 1.28 del NTN. El espesor de cada una de ellas varía entre 0.30 a 0.40 m, 0.25 a 0.35 m y 0.25 a 0.28 m respectivamente. Estas zapatas ya juntas tienen un ancho variable desde 1 a 3.20 m, tal variación está en función de la altura de los muros laterales.

El armado de las zapatas de los muros laterales se compuso de dos parrillas (superior e inferior) de la siguiente forma:

En el tramo 1 con varillas longitudinales y transversales del número 6 a cada 20 cm y a cada 24 cm respectivamente (Figura 2.11).

En el tramo 2 con varillas longitudinales y transversales del número 6 a cada 20 cm y a cada 30 cm respectivamente (Figura 2.12).

Y en el tramo 3 con varillas longitudinales y transversales del número 4 a cada 20 cm (Figura 2.13).

MURO DE CONTENCION - TRAMO 1

CORTE A - A

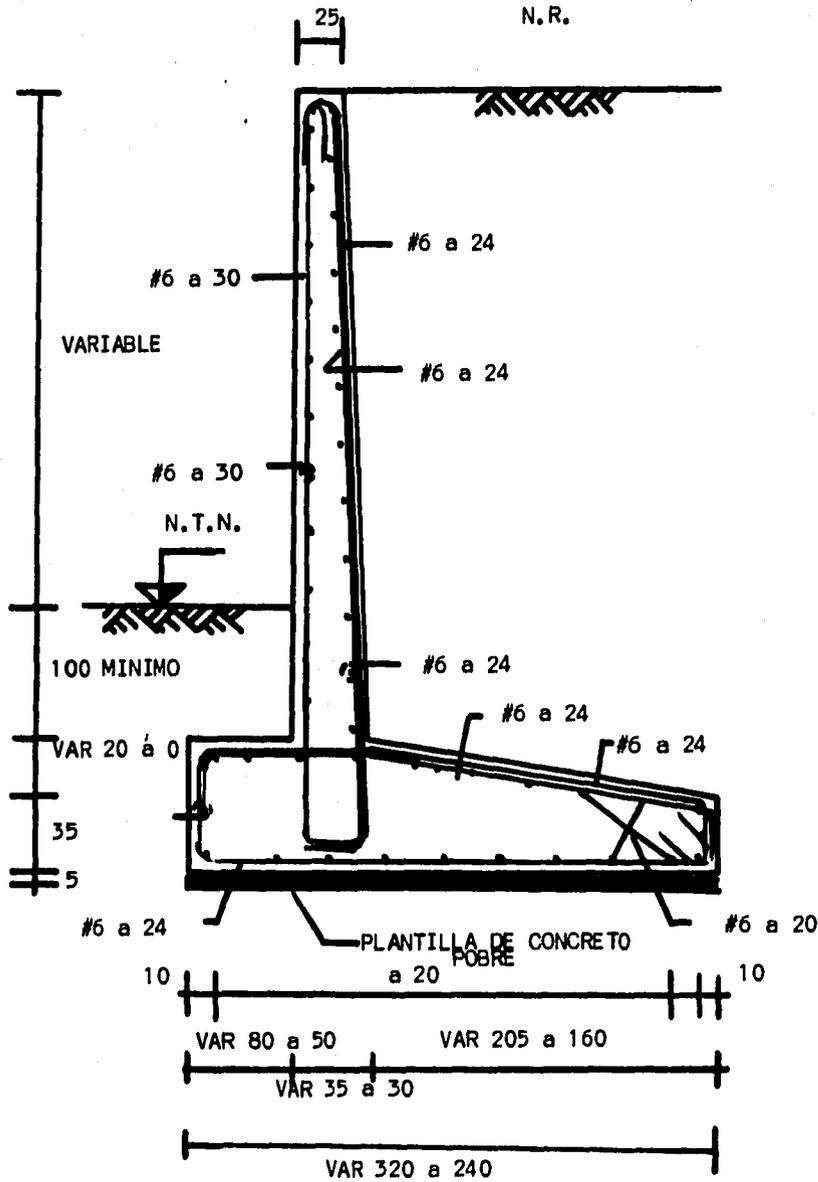


FIGURA 2.11.- MURO DE CONTENCION TRAMO 1

MURO DE CONTENCION - TRAMO 2

CORTE B - B

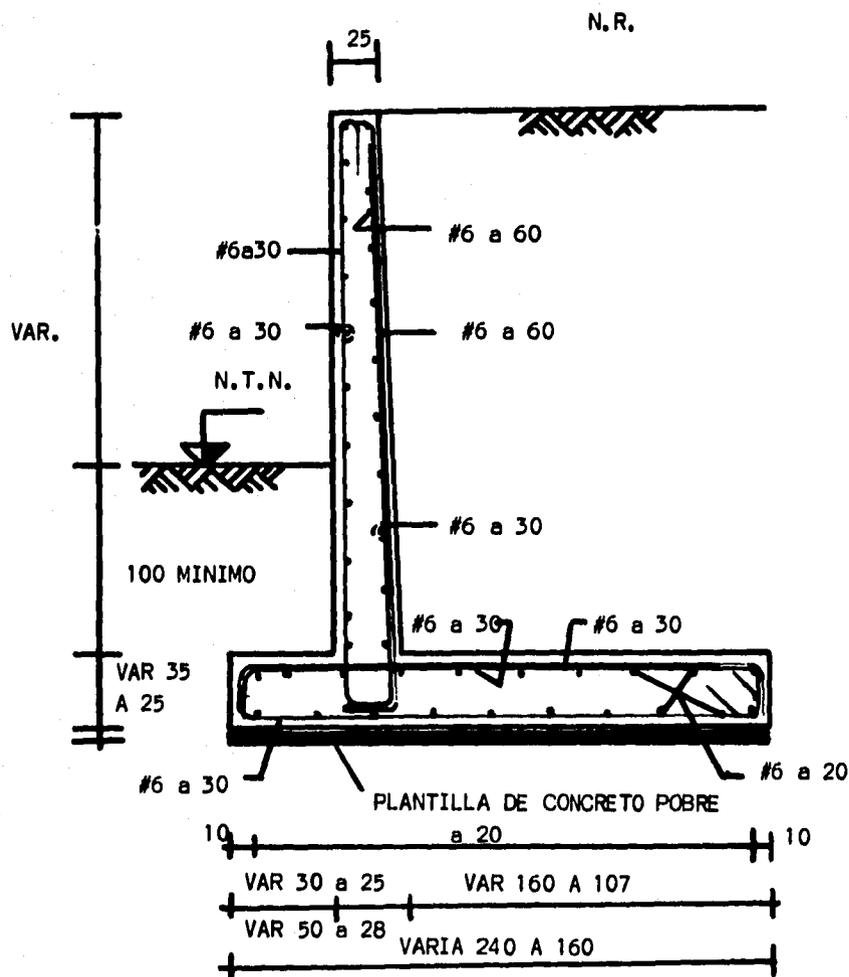


FIGURA 2.12.- MURO DE CONTENCION TRAMO 2

MURO DE CONTENCION - TRAMO 3

CORTE C - C

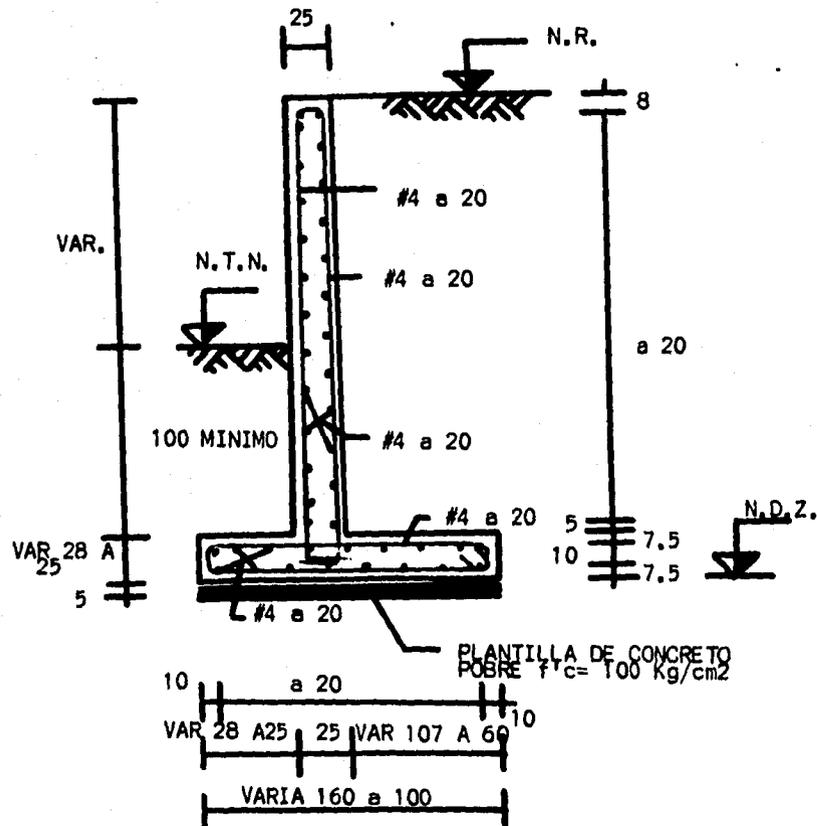
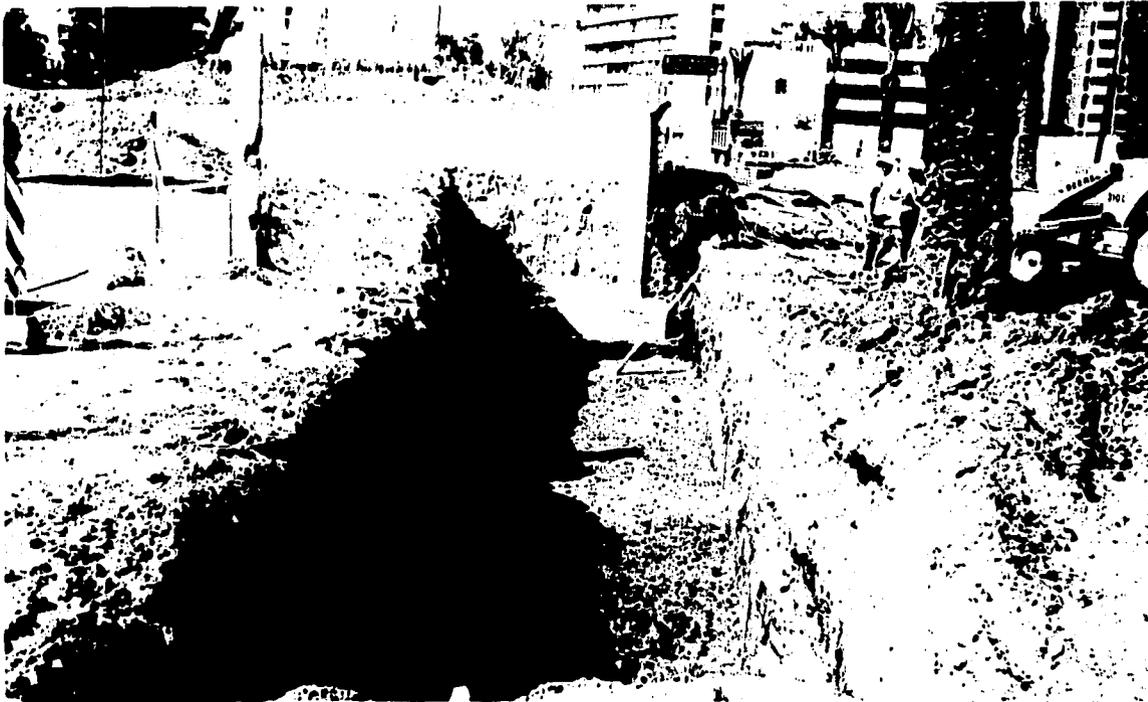


FIGURA 2.13.- MURO DE CONTENCION TRAMO 3

En estas zapatas no se les colocaron pilas debido a que la función de los muros únicamente es retener o contener el material de relleno de la rampa, y por lo tanto la carga que llega a su cimentación es muy pequeña siendo el terreno superficial es capaz de soportarla (Fotografía 2.5).



FOTOGRAFÍA 2.5.- CIMENTACIÓN DEL MURO LATERAL

El muro estribo se encuentra apoyado en dos zapatas de 4.70 m de longitud y 1.00 m de peralte, localizadas en los extremos del mismo. No hubo necesidad de colocar pilas en la cimentación del muro estribo ya que el terreno es firme y capaz de soportar las cargas del relleno y parte del peso de las primeras traveses sin fallar (Figura 2.14).

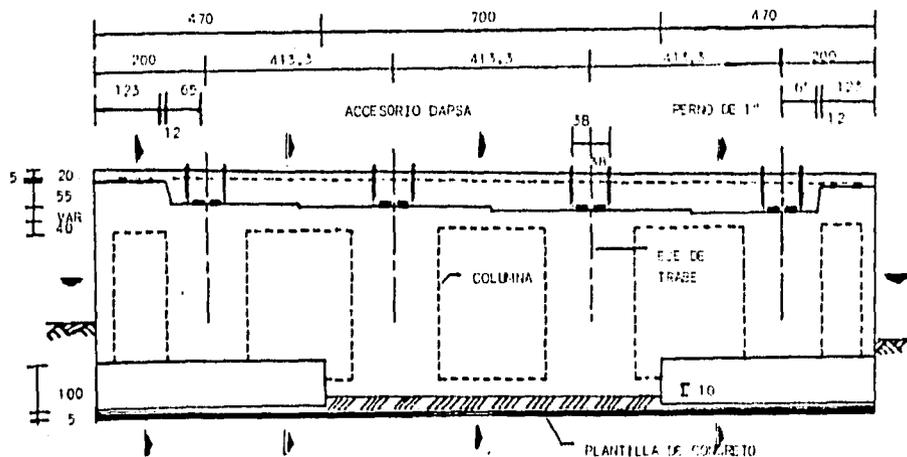


FIGURA 2.14.- VISTA FRONTAL DEL MURO ESTRIBO

## CIMENTACION

Estas zapatas están armadas en sus lechos superior e inferior con varillas del número 6 a cada 0.20 m, en los costados con dos varillas del número 4 y estribos del número 8 a cada 0.20 m (Figura 2.15).

Entre las dos zapatas se coló una pequeña sección de apoyo de 7.0 m de longitud, de 0.80 m de ancho y 0.40 m de peralte. Armado longitudinalmente con ocho varillas del número 8, colocadas por pares en cada esquina de la zapata, cuatro varillas del número 3, dos en el lecho superior y las otras dos en el lecho inferior, seis varillas del número 4 repartidas alrededor de toda la sección y un juego de dos estribos del número 4 a cada 0.15 m. (Figura 2.16).

Entre la plantilla de desplante de concreto pobre y ésta zapata se colocó material compresible limo-arenoso (tepetate) con un espesor de 0.10 m.

Las zapatas del muro estribo fueron desplantadas entre 1.55 y 1.65 m debajo del NTN.

FIGURA 2.15.- CORTE DEL MURO ESTRIBO

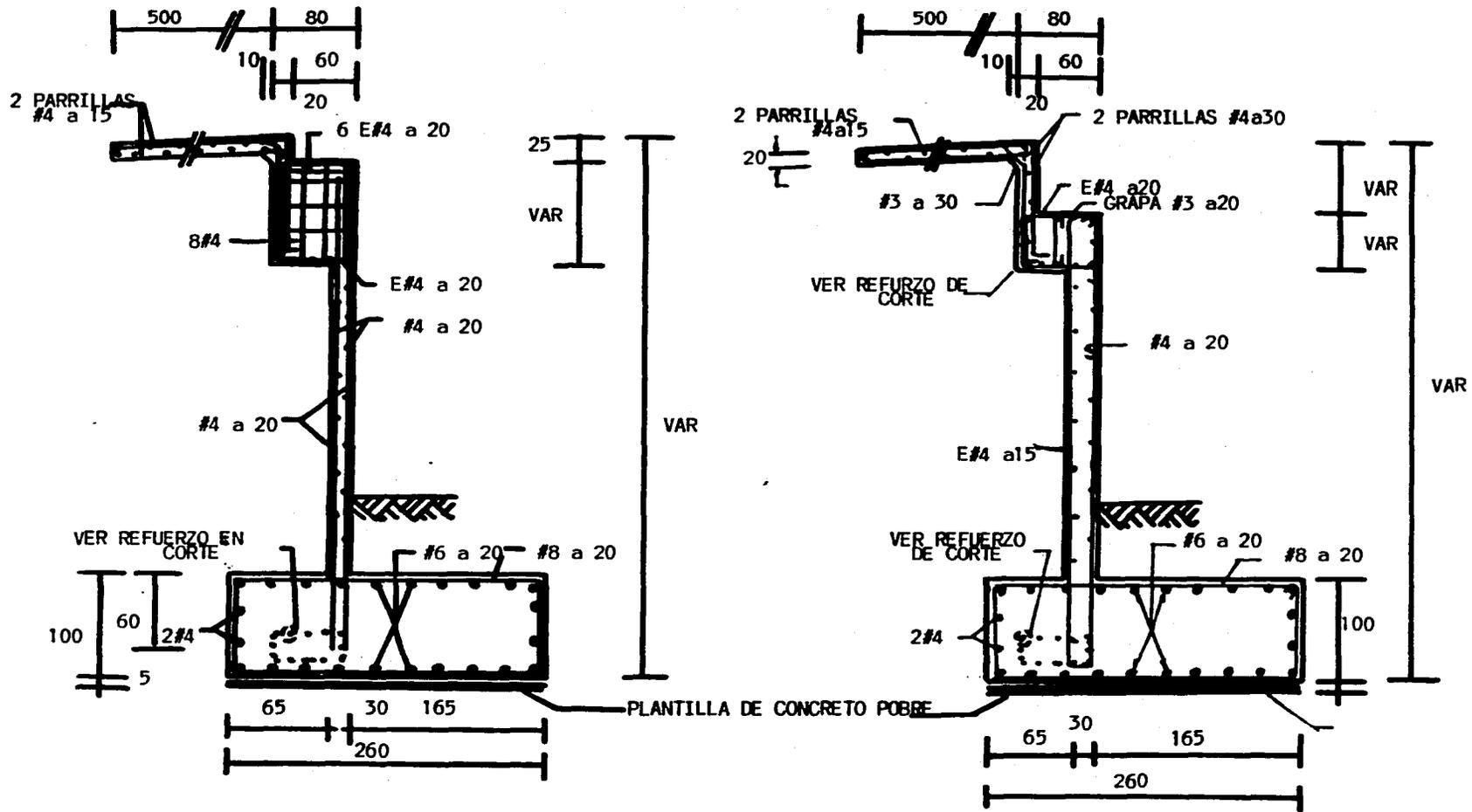
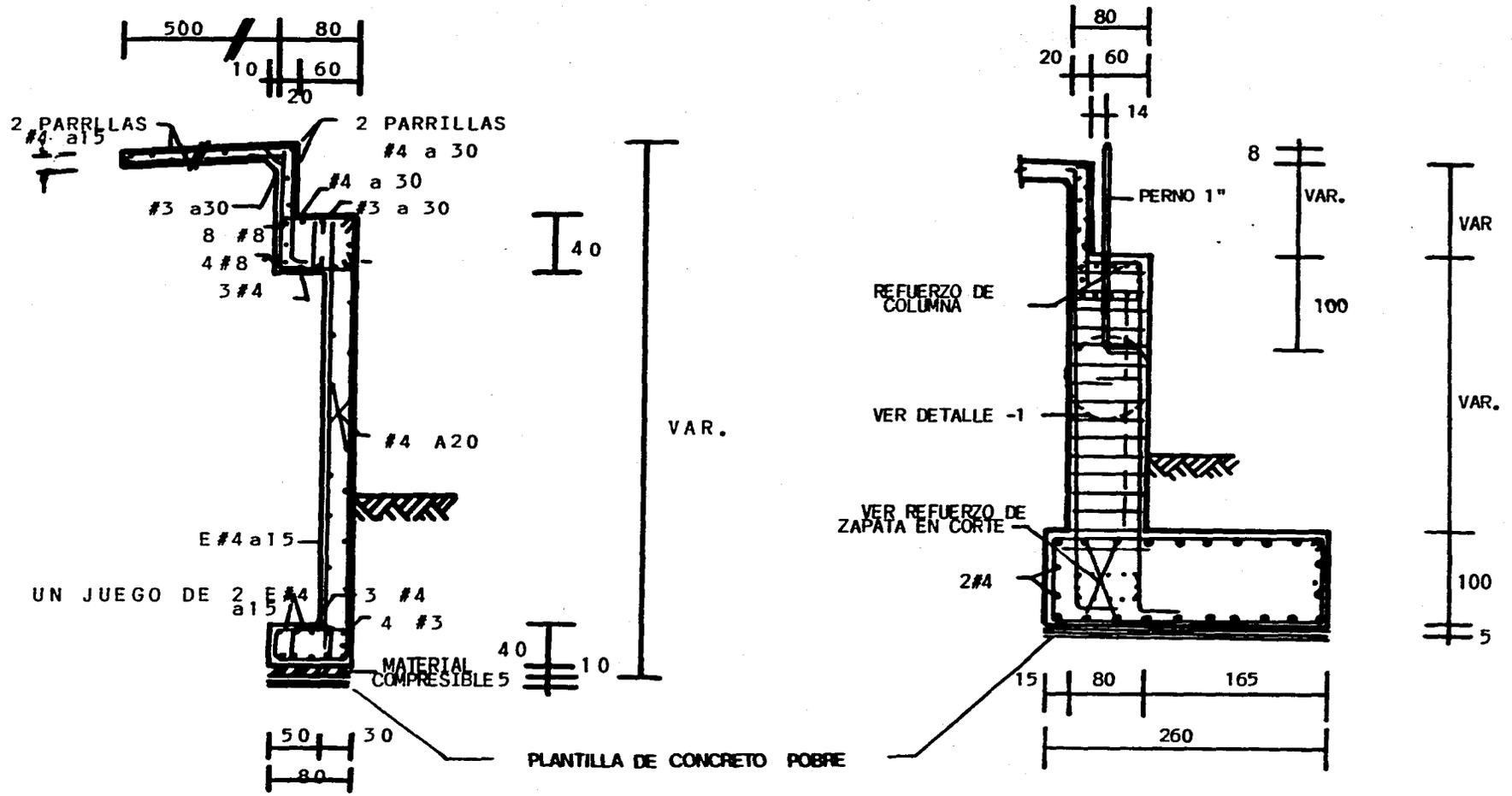


FIGURA 2.16.- CORTE DEL MURO ESTRIBO



## 2.4) EXCAVACIONES

Una cimentación requiere, en la generalidad de los casos, desalojar el material superficial existente para llegar al estrato recomendado para su desplante. En caso de que el estrato superficial reúna las condiciones necesarias habrá en cualquier forma, que protegerla de la erosión y evitar que ante los empujes horizontales vaya a sufrir desplazamientos. Lo anterior nos lleva a deducir que en cualquier caso habrá que recurrir a una excavación. Para su realización se deberán tomar en cuenta simultáneamente las condiciones del terreno y de la cimentación.

Generalmente el constructor es quien selecciona el procedimiento de excavación de acuerdo con el tipo de material.

La excavación a mano se ha empleado a través de la historia y todavía tiene importancia en zonas de mano de obra barata. La mayoría de los suelos se pueden excavar a mano, pero las gravas gruesas, los boleos y la roca no se pueden excavar a mano eficientemente, sobre todo cuando el volumen de excavación es grande.

La excavación de la cimentación se hizo con maquinaria de tipo cargador frontal Keise y una retroexcavadora Poclain LC-80.

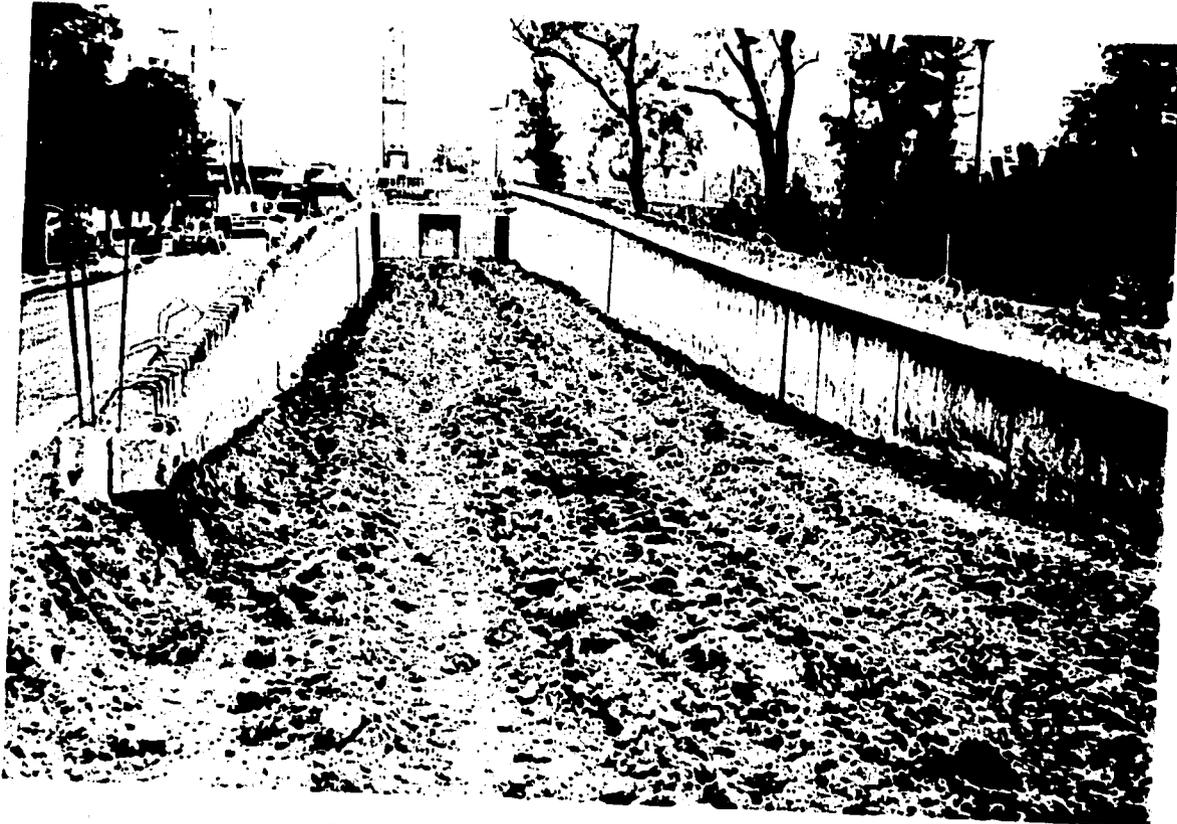
La excavación de las zapatas Z-1A y Z-1B se hizo a 2.00 m aproximadamente, la de las zapatas Z-2 se hizo a 1.80 m y la rampa de acceso a un promedio de 1.45 m.

Los taludes fueron verticales y en ningún momento hubo derrumbes en las paredes debido a la estabilidad del terreno natural.

No se tuvo problemas con el Nivel de Aguas Freáticas (NAF) por las características del suelo revelado en el estudio de mecánica de suelos, advirtiendo NAF no definido a una profundidad máxima de 15.00 m, encontrando una humedad máxima del 30% a una profundidad de 5.0 m, provocado por infiltración de la superficie del terreno que se pierde por evaporación, por lo tanto tampoco hubo subpresión en el terreno lo que permitió un buen desarrollo durante la ejecución de los trabajos de la cimentación.

### CAPITULO 3 - RAMPA DE ACCESO

Las rampas están compuestas de dos muros laterales y un muro estribo, cuya finalidad es retener el material de relleno para alcanzar los niveles del puente (Ver Figura 2.10, Fotografía 3.1). Nota: a lo largo del presente capítulo se hará referencia a figuras del capítulo anterior.



FOTOGRAFÍA 3.1.- RAMPA DE ACCESO

#### 3.1) MUROS LATERALES

Los muros laterales están constituidos por tres tramos. El tramo 1 mide 27.14 m de longitud, el tramo 2 es de 17.00 m y el tramo 3 es de 10.00 m, para un total de 54.14 m de longitud cada uno. (Figura 2.9).

La altura de los muros varía de 0.50 m en un inicio, hasta 2.70 m a partir del nivel de desplante. Estas alturas dependen de la pendiente con que se sube el puente y el espesor de las trabes prefabricadas.

## RAMPA DE ACCESO

La diferencia entre los tres tramos es el armado y el espesor del muro desde su desplante. En el tramo 1, arriba del NTN se utilizaron varillas longitudinales del # 6 separadas 30 cm entre sí, éste armado se hizo en los dos lechos del muro y se utilizaron tres tipos de bastones colocados verticalmente que envuelven a las anteriores, hechos con varillas del mismo diámetro; los bastones exteriores con 30 cm de separación y los interiores con 24 cm. El armado debajo del NTN se hizo con varillas del # 6 colocadas a cada 24 cm. El ancho del muro de este tramo varía de 30 a 35 cm en su parte mas baja, a 25 cm en su parte mas alta (Figura 2.11).

En el tramo 2 se colocaron varillas longitudinales en los dos lechos y bastones del # 6, las varillas longitudinales y los bastones exteriores colocados a cada 30 cm; los bastones inferiores a cada 60 cm. El ancho del muro en este tramo varía de 25 a 30 cm en su parte mas baja, a 25 cm en su parte más alta (Figura 2.12).

En el tramo 3 se colocaron varillas longitudinales en los dos lechos y estribos del # 4 separados 20 cm entre ellos. El ancho del muro de este tramo es de 25 cm constante en toda la sección (Figura 2.13).

La variación en los anchos de los muros se hizo con el fin de originar un escarpio para que el empuje originado por el peso del muro sea mayor y contrarreste el empuje originado por el material de relleno.

En los muros laterales se tienen dos juntas constructivas de 4 cm de espesor rellenas con material flexible (poliestireno), ya que si éste muro fuera de una sola pieza, probablemente fallaría por su longitud y por el empuje del material de relleno que soporta. Una de esas juntas se encuentra entre el tramo 1 y 2, y la otra entre el muro estribo y el tramo 1 (Figura 2.9).

El acero que se utilizó para los muros laterales tiene una resistencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . El acero vertical de estos muros quedó ahogado en la zapata de cimentación, y llega hasta abajo de la malla inferior de la zapata, con un anclaje de 40 veces el diámetro de la varilla para evitar la falla por penetración. El concreto que se utilizó tiene resistencia de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  y fué fabricado en una planta dosificadora.

### 3.2) MURO ESTRIBO

El muro estribo es el remate de los muros laterales y el apoyo de las primeras traveses del puente. Estos muros están apoyados en dos zapatas, una en cada extremo ( 1.0 m de espesor) y en otra intermedia de menor sección ( 0.40 m de espesor). La longitud del muro norte es de 23.90, m ya que de ahí se desprende la gaza norte de 7.50 m de ancho; y el muro estribo sur de 16.40 m de longitud, y 3.50 m de altura cada uno (Figura 2.10).

Este muro varía transversalmente en 4 tramos ya que en éstas zonas se apoyan las 4 traveses centrales iniciales. (Figura 2.15). El acero de los muros va armado al acero inferior de la zapata de cimentación, teniendo una resistencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , constituido por varillas verticales y estribos del # 4 a cada 0.20 m, con 30 cm de espesor de muro. En la zona donde se apoyan las traveses existe una columna que quedó ahogada junto con el refuerzo del muro formando un sólo elemento, por lo en esta zona aumenta la sección del muro a 80 cm (Figuras 2.15 y 2.16, Fotografía 3.2).

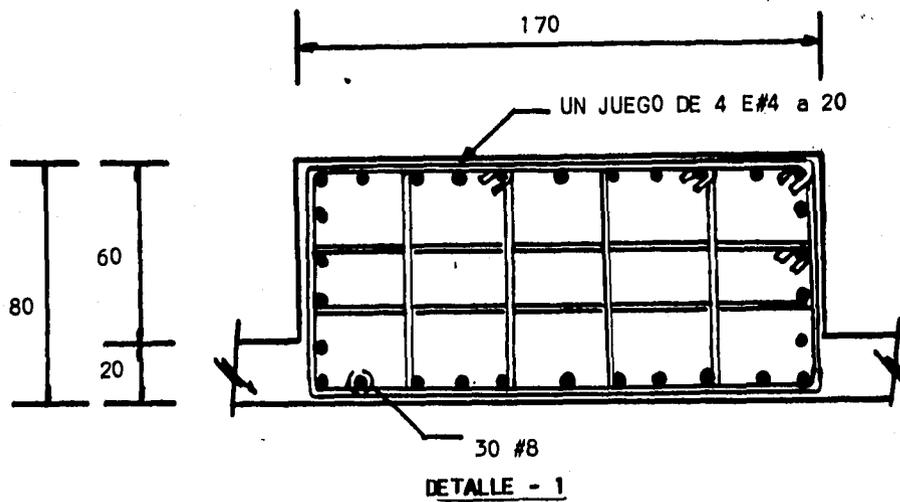
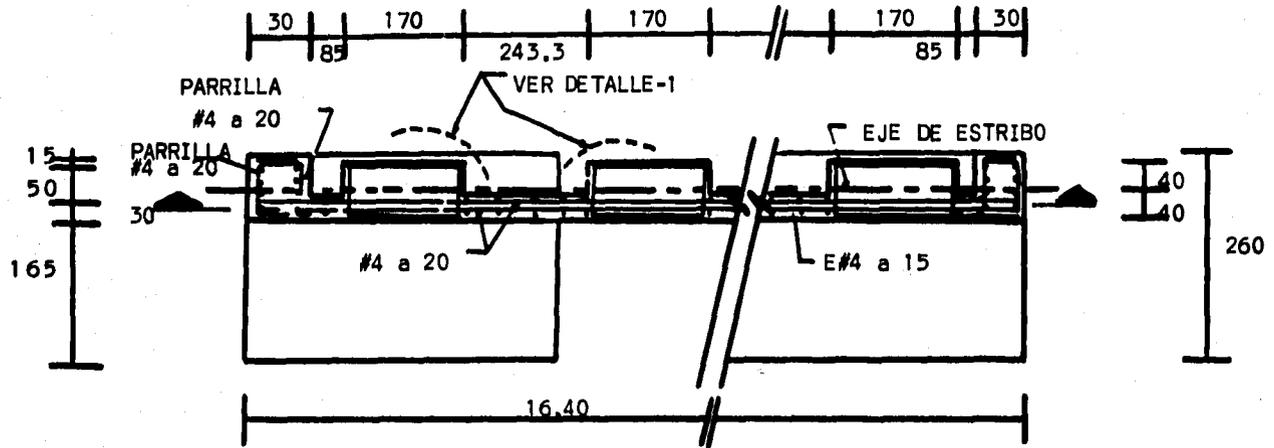


FOTOGRAFÍA 3.2.- MURO ESTRIBO

El refuerzo de las 4 columnas que forman este muro, está formado por 30 varillas del # 8 acomodadas verticalmente y equidistantes una de otra alrededor de toda la sección que tiene 1.70 m longitudinalmente y 80 cm transversalmente. Estas están amarradas a un juego de 4 estribos a cada 20 cm. En el remate de las columnas y a lo largo de todo el muro, hay un armado longitudinal de 8 varillas del # 8 en el lecho superior (4 en cada esquina), y 4 en el lecho inferior (2 en cada esquina),

# RAMPA DE ACCESO

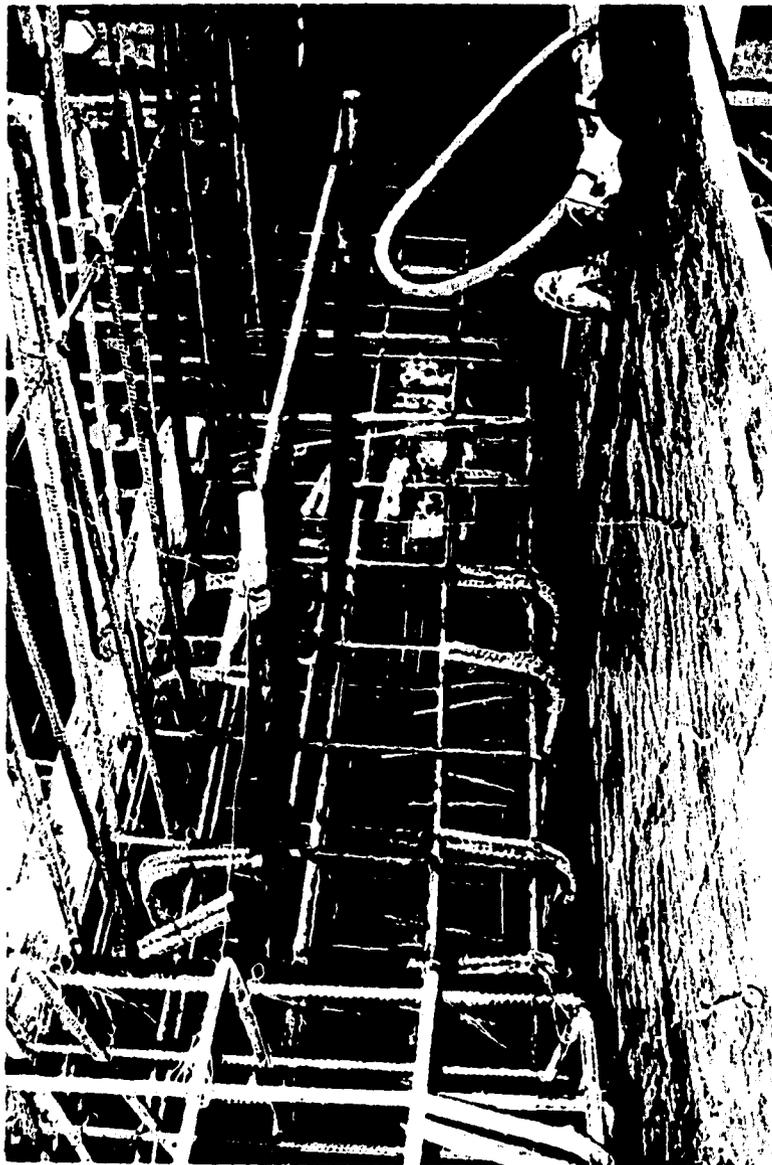
6 varillas del # 4 (tres arriba y tres abajo), grapas del # 3 a cada 20 cm y estribos del # 4 a cada 20 cm. (Figuras 3.1 y 3.1a).



FIGURAS 3.1 Y 3.1A.- REFUERZO DE COLUMNA EN EL MURO ESTRIBO

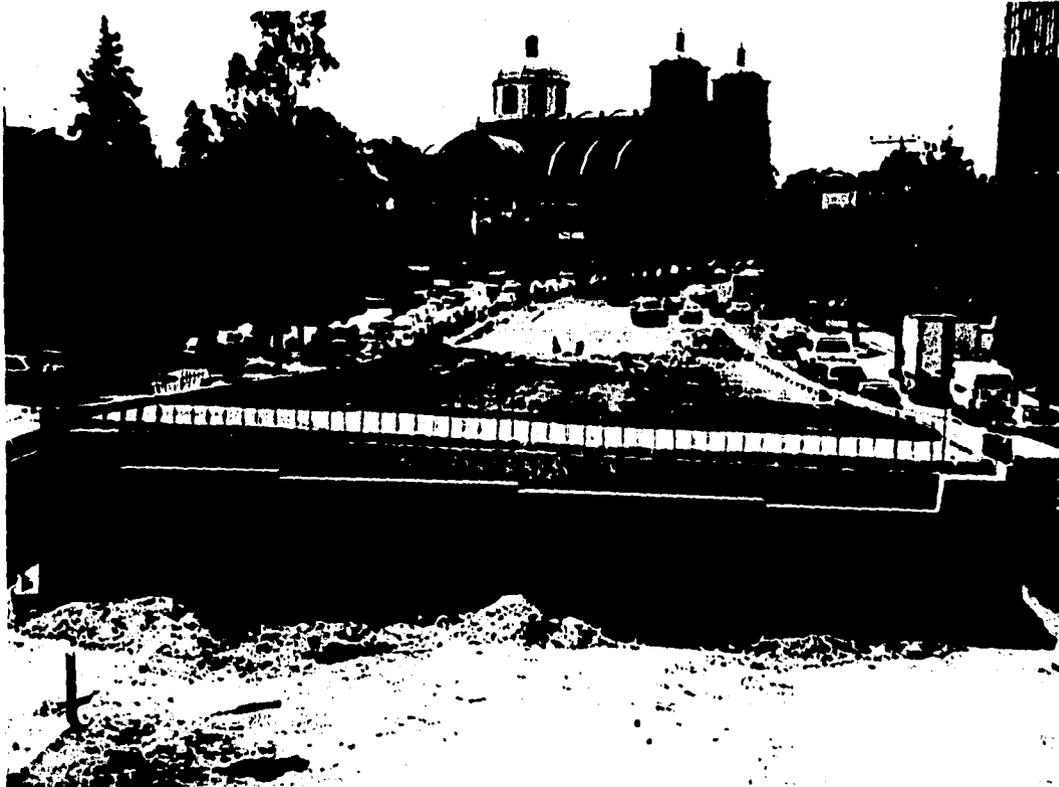
Para rematar el muro hay un elemento llamado *losa de aproximación*, cuya función se describe más adelante.

En cada sitio donde van apoyadas las traveses se dejaron ahogados a 1.00 m de profundidad en el muro estribo, dos pernos de 1" de diámetro de resistencia  $f_y = 10,500 \text{ kg/cm}^2$ , cada uno con rosca estándar de 8 cm en el extremo. En éstos pernos van ancladas las traveses centrales con las que se inicia el puente. Los pernos se utilizan indistintamente para apoyos fijos o móviles, en el caso de los muros estribos son fijos y al apoyar la pieza se les coloca la tuerca correspondiente soldándose a la placa de acero para que no haya deslizamientos (Fotografías 3.3).



FOTOGRAFÍA 3.3.- PERNOS DEL MURO ESTRIBO

RAMPA DE ACCESO



FOTOGRAFÍA 3.3.- PERNOS DEL MURO ESTRIBO

Con el fin de evitar el contacto del concreto del muro y las traveses centrales se colocaron placas de neopreno (una por cada trabe), que transmiten la carga de la trabe central al muro estribo. El neopreno, por ser un material flexible pero muy resistente, se coloca en esa zona para evitar que las piezas se deterioren al momento de un deslizamiento, ya sea por sismo, o bien por cambio de temperatura al estar directamente apoyadas una sobre otra (Figura 3.2).

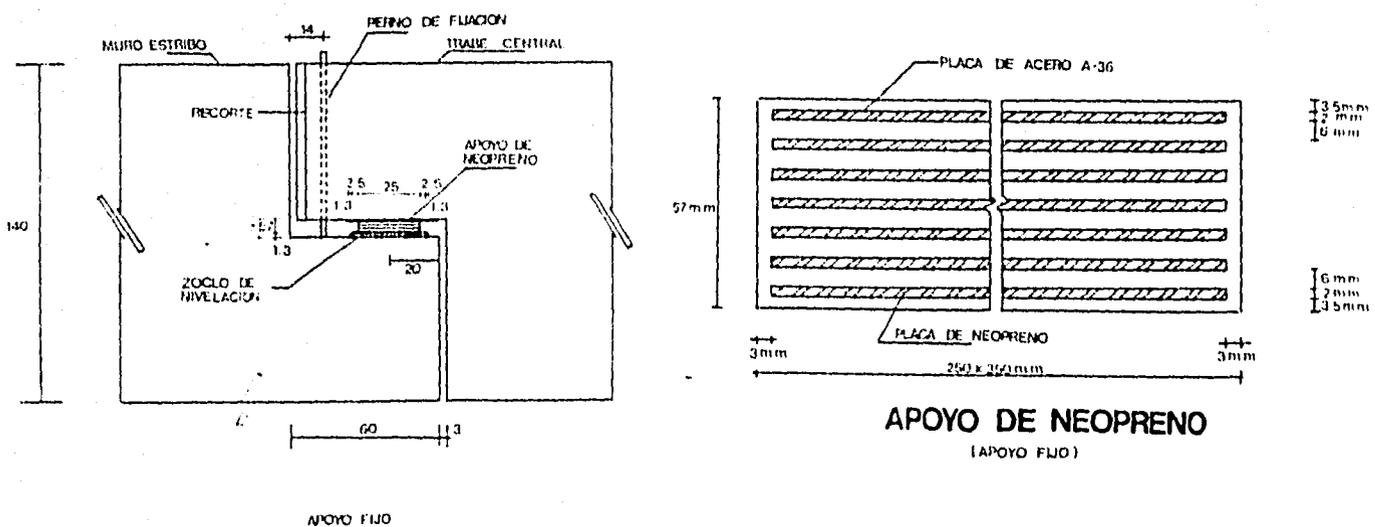
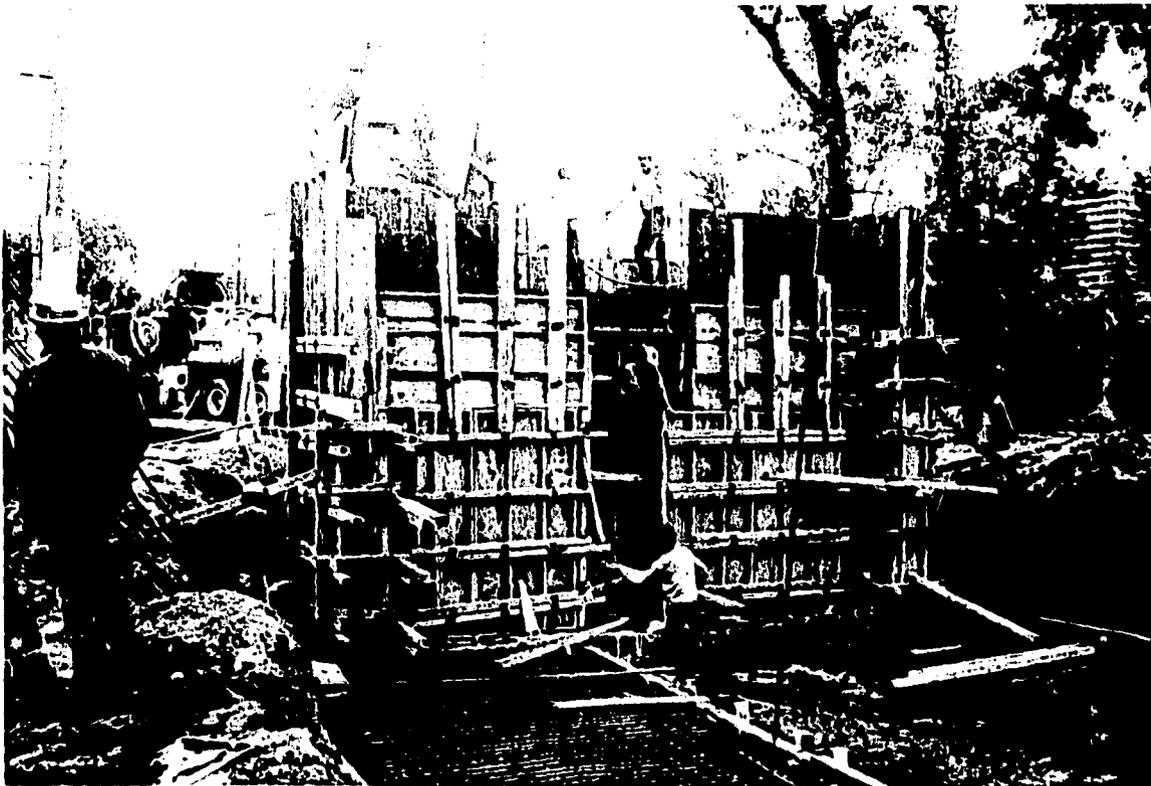


FIGURA 3.2.- APOYO DE NEOPRENO

El concreto utilizado para la construcción de todos los muros tiene una resistencia de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , fabricado en planta, realizando el vaciado mediante bombas.

El acero longitudinal de los muros laterales están empotrados en el muro estribo con una longitud de anclaje de 40 veces el diámetro, con la finalidad de que los tres muros trabajen como un sólo elemento.

El cimbrado de los muros laterales y del muro estribo se hizo con madera de primera tratada (lijada y barnizada) en la cara exterior, con acabado de *espejo*, y en la cara interior madera de segunda sostenida con polines. A toda ella se le aplicó lubricante para evitar la adherencia con el concreto (Fotografía 3.4).



FOTOGRAFÍA 3.4.- CIMBRA EN MURO ESTRIBO

## RAMPA DE ACCESO

Inmediatamente después de retirarse la cimbra se curó con curacreto, aditivo que, por su composición aceitosa, no permite que la humedad que contiene el elemento salga y se evapore.

### 3.3) RELLENO

Para la colocación del relleno en las rampas de acceso, se excavó 50 cm debajo del NTN, con el fin de aligerar y mejorar la base del terreno. Se escarificó el fondo de la excavación a una profundidad de 15 cm aproximadamente, compactándose al 85% de la prueba Próctor estándar.

Después de la capa escarificada se colocó un relleno aligerado de tezontle de 80 cm de espesor, acomodándolo con un cargador frontal. Posteriormente, se colocó una capa sub-rasante con material limo-arenoso (tepetate) de 2.0 m de espesor en capas de 20 cm cada una máximo, y lograr un grado de compactación del 85% de la prueba Próctor estándar.

Ya colocada la sub-rasante se continuó con la colocación de la sub-base, de 25 cm de espesor (colocada en una sola capa), verificando que tuviera una compactación del 95% de la prueba próctor estándar. Por encima de esta última, se tendió una base de 0.20 m de espesor con un grado de compactación del 98% de la prueba próctor modificada (Figura 3.3).

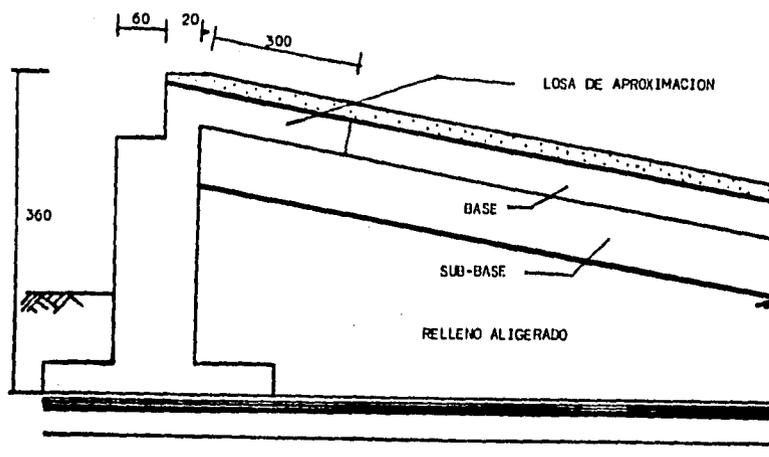
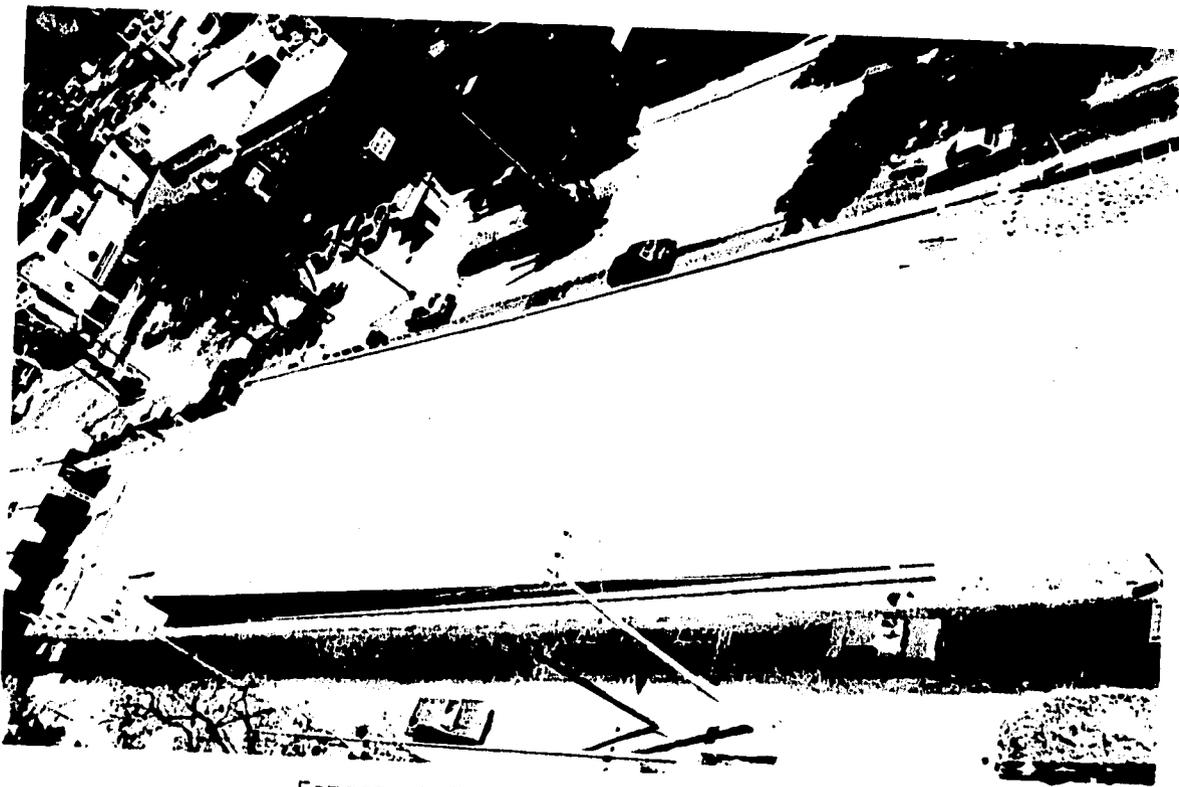


FIGURA 3.3.- SECCIÓN DE TERRAPLEN DE ACCESO

La compactación de las capas sub-rasante, sub-base y base, se realizó mediante un rodillo vibrador liso (Fotografías 3.5 y 3.6).



FOTOGRAFÍA 3.5.- FORMACIÓN DEL TERRAPLEN

FOTOGRAFÍA 3.6.- TERRAPLEN TERMINADO

Se procuró hacer la colocación del material lo más rápido posible inmediatamente después de su llegada del banco, con la finalidad de aprovechar la humedad natural que el material traía consigo.

Cuando la base había alcanzado su compactación, constantemente se aplicó agua al material para que no perdiera su humedad. Esto se hizo hasta que se aplicó el riego de impregnación.

Con la finalidad de lograr un comportamiento adecuado entre la terracería formada por el terraplén y la estructura de concreto formada por las trabes prefabricadas, siempre es necesario construir elementos de liga que sirvan como transición entre uno y otro, mejorando el comportamiento de la estructura. Dichos elementos son la losa de aproximación y el firme de compresión. Este último se mencionará a detalle en el Capítulo 7.

La losa de aproximación es un elemento de concreto armado ligado al firme de compresión mediante un apoyo articulado y apoyado libremente sobre el terraplén, su función es evitar la formación de un escalón entre la rampa y el puente cuando aquella sufra procesos de hundimientos diferenciales entre el terraplén y el muro estribo (Figura 3.4).

### LOSA DE APROXIMACION

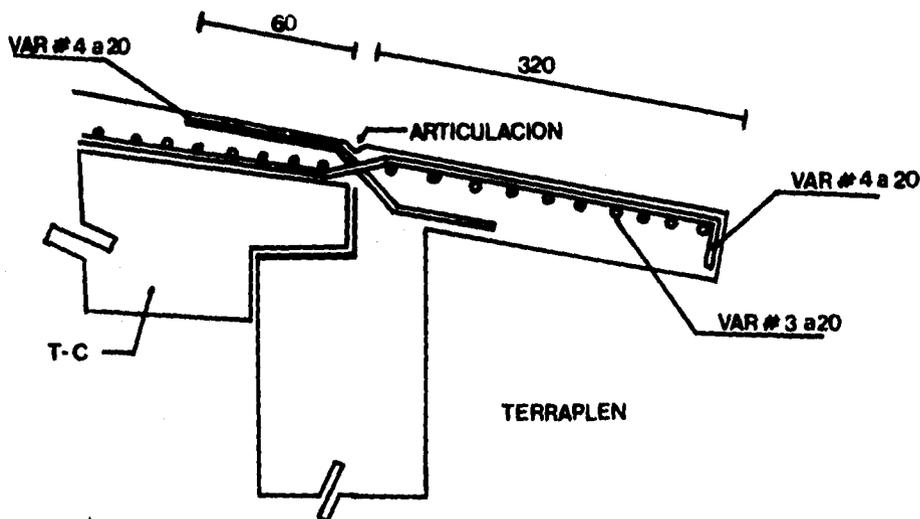


FIGURA 3.4.- LOSA DE APROXIMACIÓN

## CAPITULO 4 - ARMADO Y COLADO DE COLUMNAS

En toda construcción de ingeniería se debe definir el tamaño real de las diferentes partes que componen una estructura. A tales partes se les deben asignar dimensiones apropiadas para que resistan las fuerzas reales o probables a las que esté sujeta. Este trabajo le corresponde directamente al estructurista y para efectos prácticos de procedimientos constructivos, la empresa contratista culmina el proyecto. Este capítulo se limitará únicamente a abordar el proceso de fabricación de las columnas que integran el paso a desnivel en cuestión sin mencionar ni analizar criterios y metodologías empleadas para su diseño.

Existen dos tipos de columnas en el puente: de 1.75 m de diámetro y de 1.30 m de diámetro, con altura variable para admitir la pendiente longitudinal de 5.5% ya citada. Hay un gálibo (altura) de 6.53 m aproximadamente entre los ejes 5 y 6, y otro que cuenta con una altura de 5.22 m aproximadamente entre los ejes 13 y 14, permitiendo la circulación de vehículos de carga que crucen bajo el puente (Figura 4.1).

### 4.1) ARMADO

Existen cuatro columnas de 1.75 m de diámetro (C-1) que están apoyadas, una en una zapata Z-1A y tres restantes en una zapata tipo Z-1B. Las columnas fueron armadas con acero de refuerzo de resistencia  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , cumpliendo con un doble armado longitudinal de 44 varillas del # 12 colocadas en paquetes de 2 (número máximo permitido por el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF), haciendo un total de 88 varillas verticales, las que llegan hasta la parte inferior de la zapata (Fotografía 4.1), a una longitud de anclaje de 40 veces su diámetro. La unión de las varillas se realizó con soldadura de arco eléctrico y electrodos de la serie E-90 xx.

Abrazando el armado exterior se utilizaron dos zunchos de acero del # 4 con paso de 20 cm, y en el armado interior un zuncho de acero del mismo diámetro con paso de 15 cm (Fotografía 4.2). El traslape de los zunchos cumplió con 1.5 veces el diámetro de la columna (mínimo especificado por las Normas Complementarias del RCDF) (Figura 4.2).

Las veinte columnas de 1.30 m (C-2) de diámetro están apoyadas cada una en uno de los cuatro dados que forman las zapatas Z-2. Las columnas están armadas longitudinalmente con 24 varillas del # 12 acomodadas por pares y abrazadas por estribos en forma de zuncho con varilla del # 4 y con paso de 20 cm, ajustándose todo a las especificaciones del RCDF (Figura 4.3).

C - COLUMNA  
 CB - CABEZAL  
 TA - TRABE DE APOYO  
 TC - TRABE CENTRAL  
 F - APOYO FIJO  
 M - APOYO MOVIL  
 TB - TABLETA

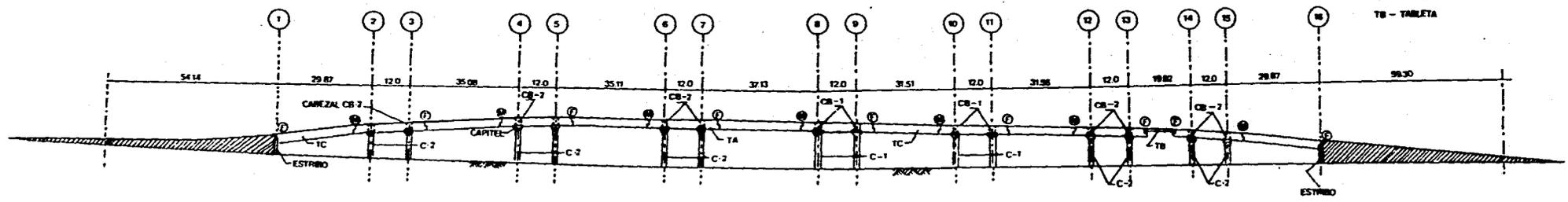


FIGURA 4.1

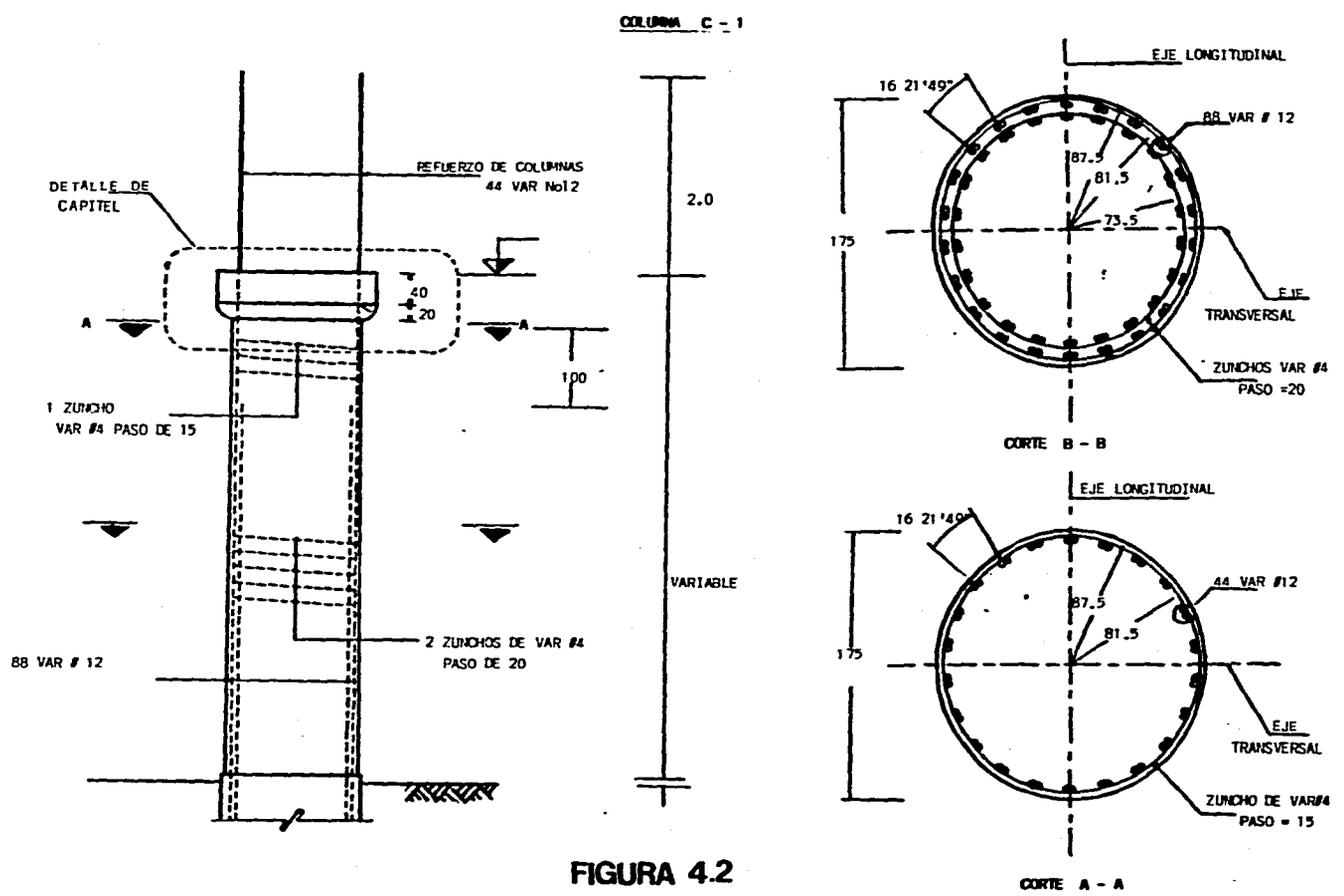
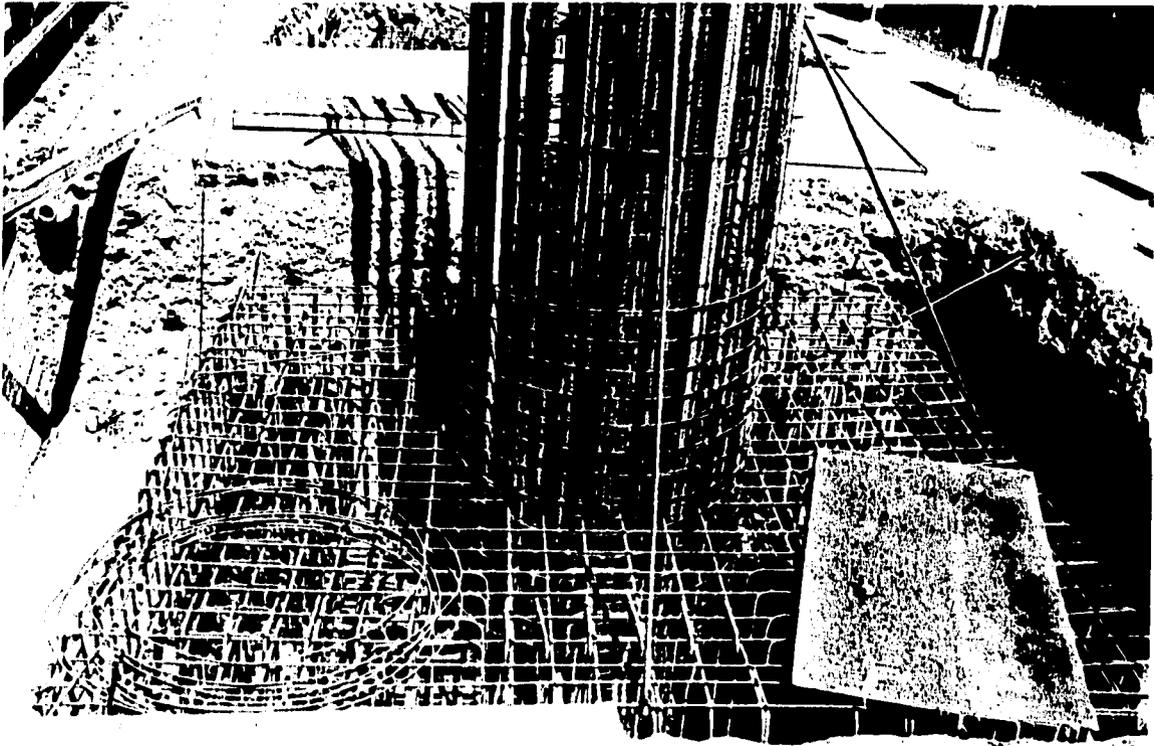


FIGURA 4.2

COLUMNAS

FIGURA 4.1.- PERFIL DEL PUENTE  
 FIGURA 4.2.- COLUMNA C-1



FOTOGRAFÍAS 4.1 Y 4.2.- ARMADO DE COLUMNAS

**COLUMNA C - 2**

VER DETALLE  
CAPITEL

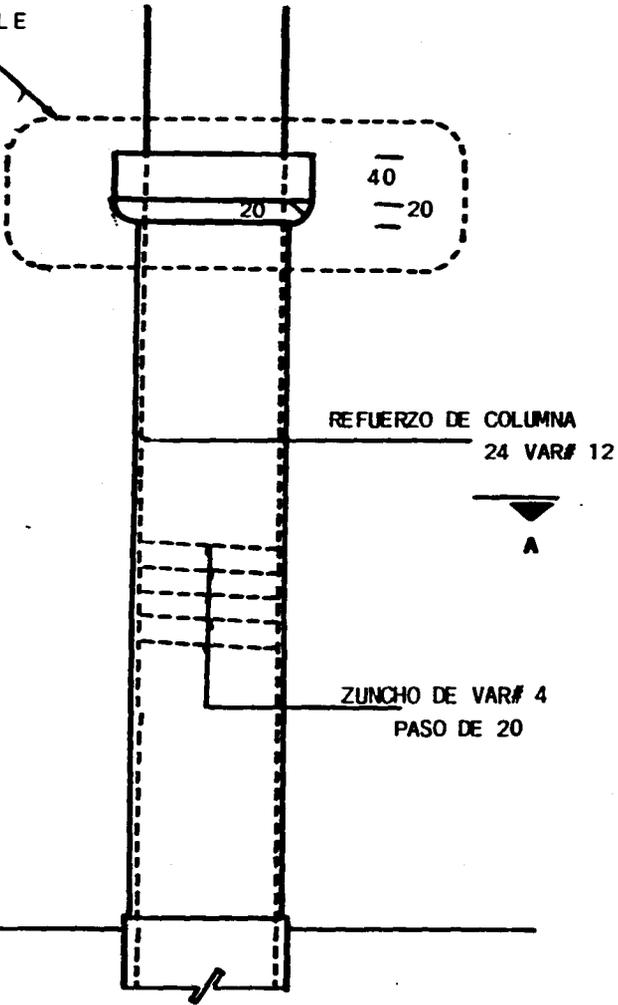
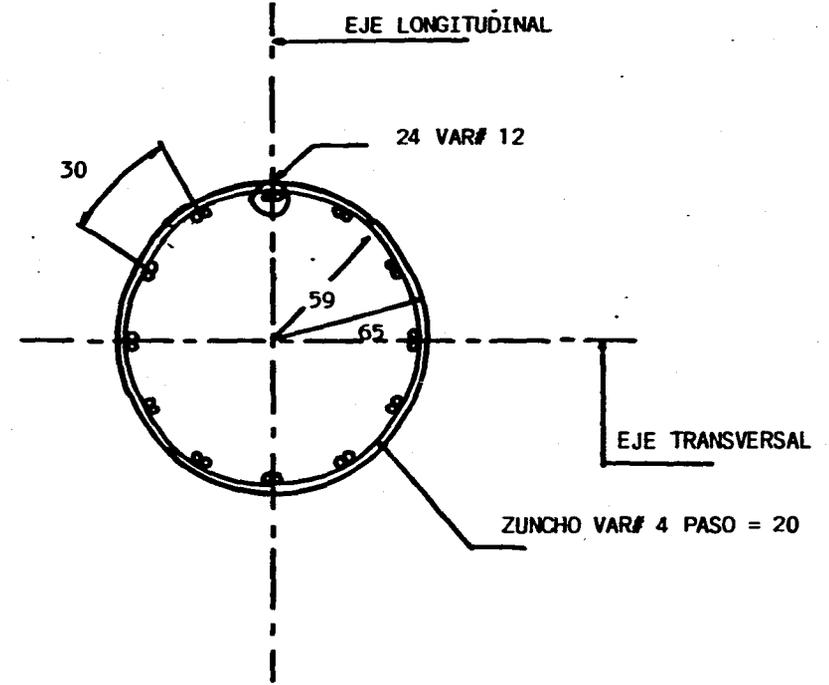
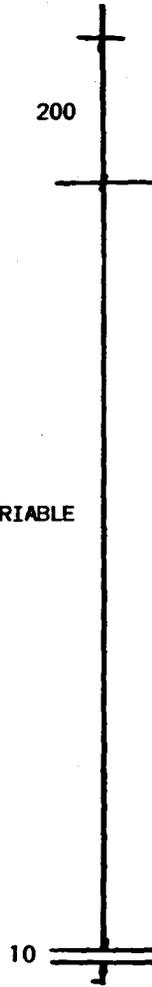


FIGURA 4.3.- COLUMNAS C-2

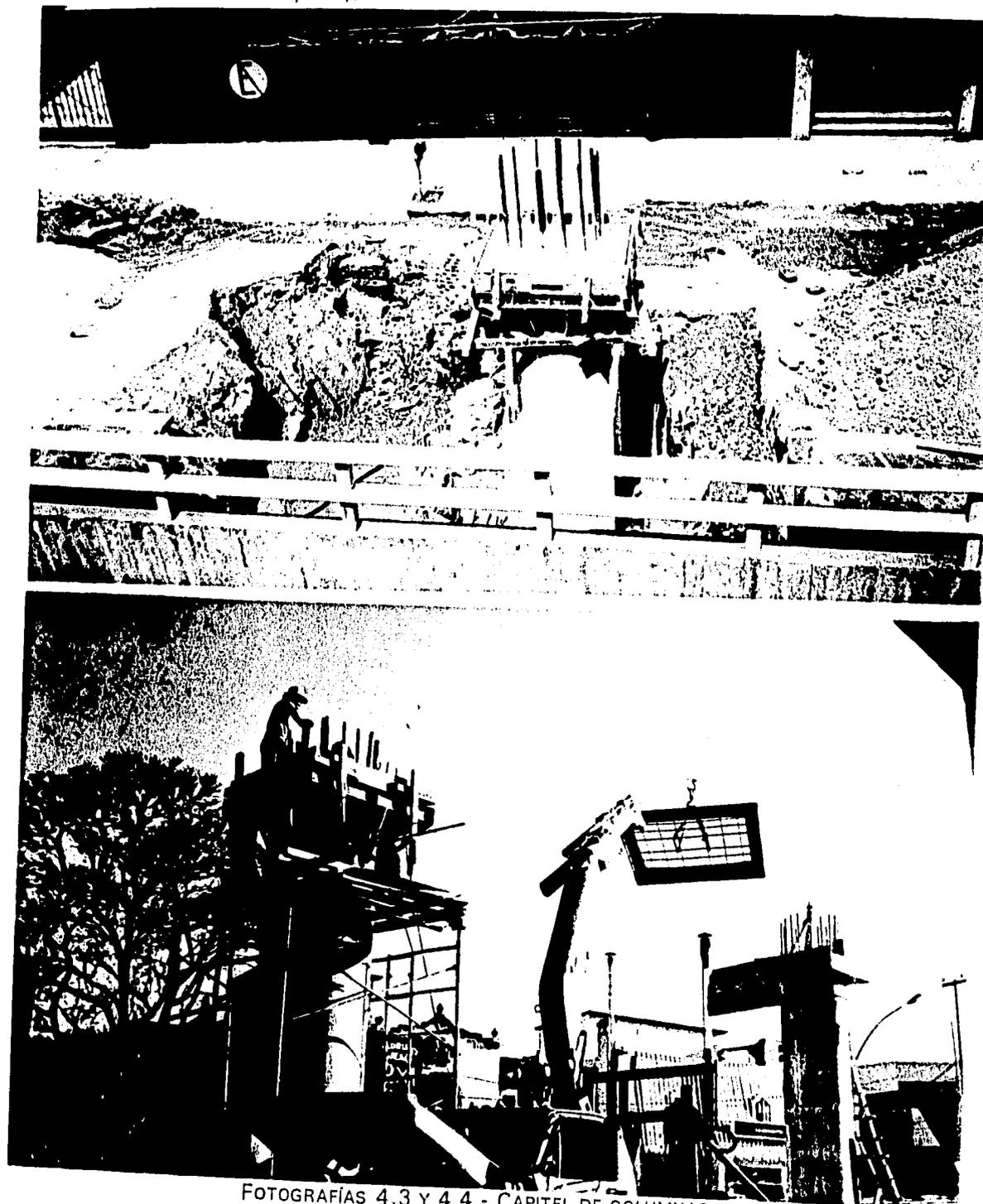
42

VARIABLE



COLUMNAS

En la parte superior de las columnas se construyó un capitel de dimensiones 2.15 x 2.15 x 0.60 m (Fotografía 4.3), con el fin de distribuir los esfuerzos en las columnas de 1.75 m, y el cual, en todo su perímetro tiene ángulo de 6" x 3/4" para evitar desportillamientos (Fotografía 4.4). Asimismo, tiene soldadas horizontalmente ocho varillas del # 8 en cada sentido formando una parrilla. Verticalmente, en el perímetro del ángulo, tiene soldadas ocho varillas del # 6 que para unir las se utilizaron seis estribos del # 6 (Figuras 4.4 y 4.5).



FOTOGRAFÍAS 4.3 Y 4.4.- CAPITEL DE COLUMNAS

# COLUMNAS

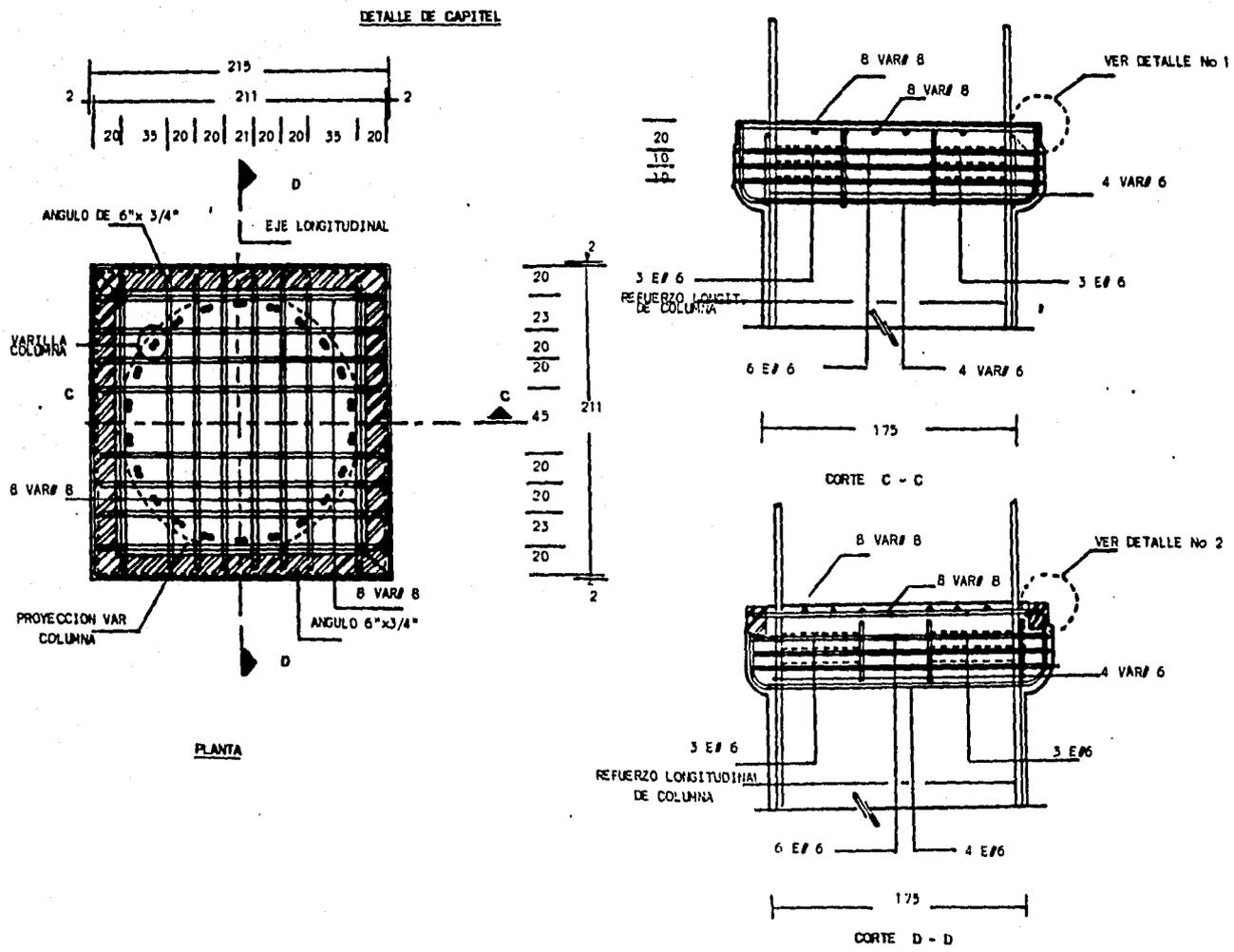
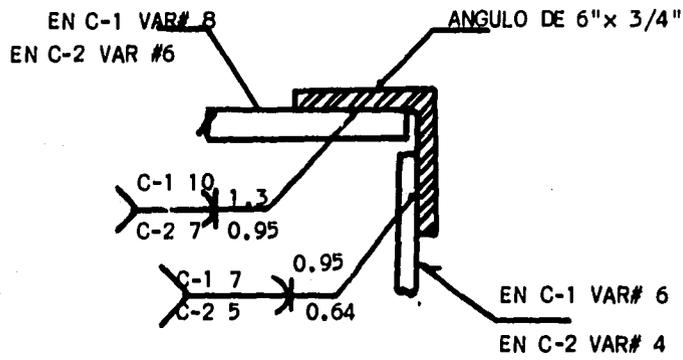


FIGURA 4.4.- DETALLE DE CAPITEL DE COLUMNA C-1

DETALLE No. 1



DETALLE No. 2

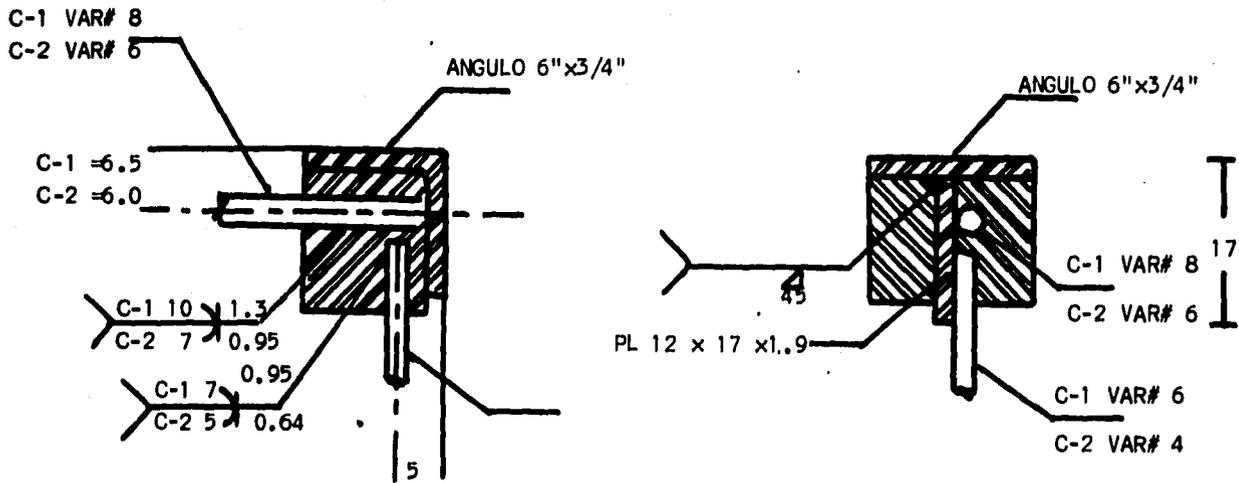


FIGURA 4.5.- ACCESORIOS DE CAPITELES

## COLUMNAS

El capitel de las columnas de 1.30 m de diámetro es de 1.70 x 1.70 x 0.60 m, con sus respectivos ángulos, a los cuales se soldaron horizontalmente seis varillas del # 6, perpendiculares a otras seis varillas del mismo diámetro. De igual forma que en las columnas de 1.75 m de diámetro, verticalmente se soldaron cuatro varillas del # 4 en el perímetro del ángulo, para cuya unión se utilizaron cuatro estribos del # 4. La resistencia de los ángulos es de  $f_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (Acero A-36) (Figura 4.6).

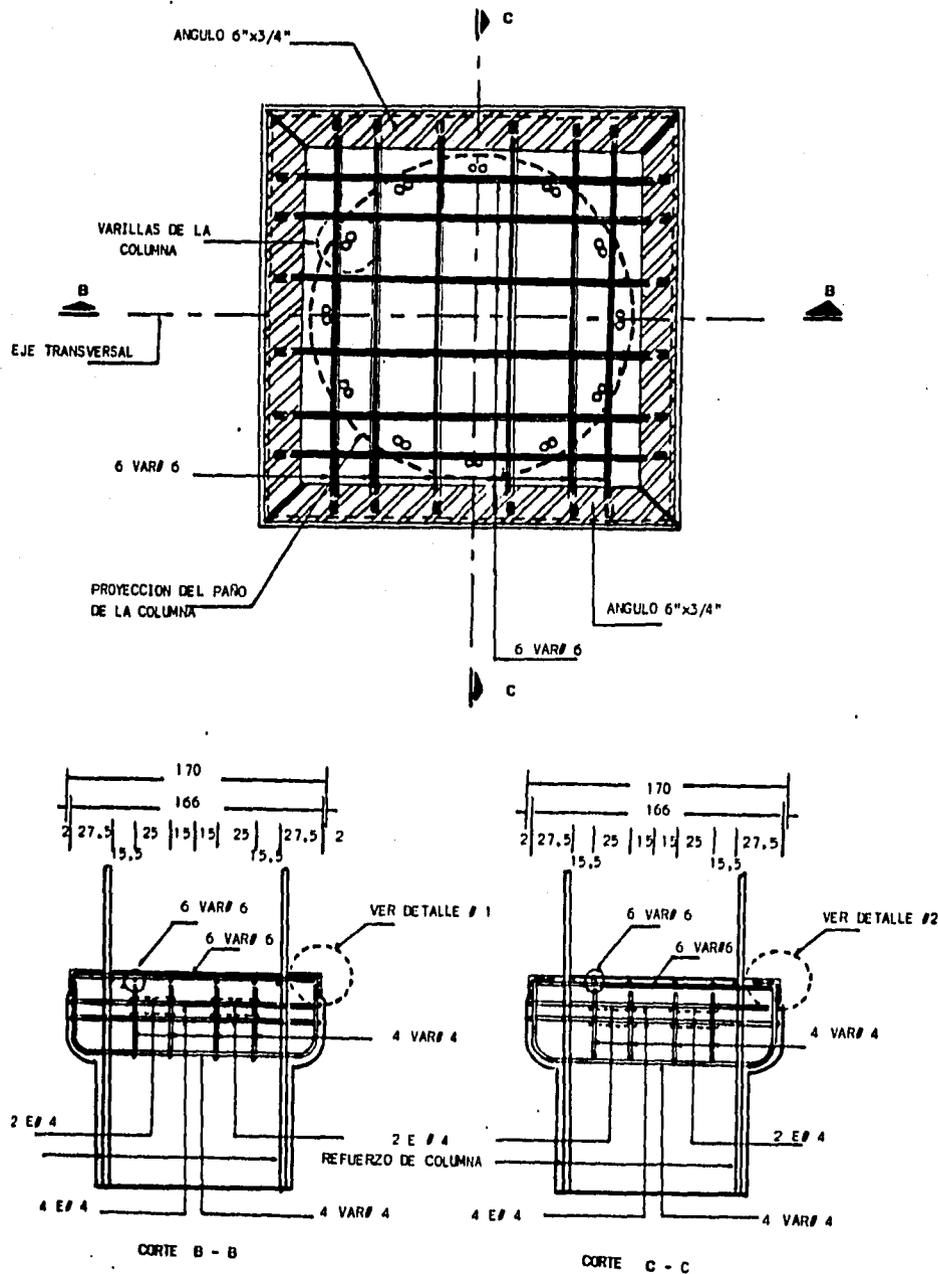


FIGURA 4.6.- DETALLE DE CAPITEL DE COLUMNA C-2

Adicionalmente a una distancia de 1.0 m dentro de las columnas, salen hasta 2.20 m sobre el capitel las varillas del armado de las columnas para realizar el tensado de los diafragmas, también con la finalidad de que se ahoguen en el firme de compresión de la pista de rodamiento. (Esto se planteará y analizará con mayor detalle en el Capítulo 7).

#### 4.2) CIMBRADO

Se utilizó cimbra metálica para el colado de las columnas. La cimbra consiste en dos cascarones semicirculares de 3.00 m de altura, que se unen por medio de tornillos y tuercas. También se utilizan unos yugos a cada 1.20 m para evitar las deformaciones de la cimbra (Fotografía 4.5).



FOTOGRAFÍA 4.5.- CIMBRA DE COLUMNAS

## COLUMNAS

Debido al peso de la cimbra, las columnas se colaron en 2 o 3 etapas. Por la premura del tiempo se cimbró y se coló por las mañanas, se descimbró al medio día, y nuevamente se repitió el procedimiento en las tardes hasta terminar con todas las piezas, ésto con el objeto de evitar un retraso excesivo en la obra (Fotografía 4.6).



FOTOGRAFÍA 4.6.- COLADO DE COLUMNAS

Antes de colocarla, las paredes de la cimbra se impregnaron de aceite para evitar la adherencia del concreto al momento de descimbrar. La cimbra de los capiteles es también metálica (Fotografía 4.7).



FOTOGRAFÍA 4.7.- CIMBRA DE CAPITEL

Se optimizó lo más que se pudo el uso de la cimbra, utilizando cemento de rápida resistencia alta, y aditivo superfluidizante, el cual ayudó a conseguir el acabado aparente y permitió descimbrar aproximadamente a las 12 horas. después del colado, para no alterar el programa de obra.

#### 4.3) COLADO

La resistencia del concreto utilizado en las columnas es de  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ , fabricado en plantas dosificadoras, cumpliendo con un revenimiento máximo de 10 cm, tamaño máximo del agregado grueso de 1/2" y recubrimiento mínimo de 4 cm. Su descarga se realizó por medio de bombas.

El colado de las columnas se hizo por secciones. Se vibró a cada 50 cm, procurando colocar el vibrador verticalmente y no más de 10 segundos en un mismo lugar o hasta que el agregado grueso desapareciera de la superficie, evitando así huecos o burbujas que estropearan la calidad del colado (Fotografía 4.8).



FOTOGRAFÍA 4.8.- COLADO POR SECCIONES

Asimismo, se realizó el colado en dos etapas: en la primera se coló la columna y en la segunda, ya fraguado el concreto, se continuó con la colocación de la cimbra de los capiteles y posteriormente su colado, los que también se descimbraron después de 12 horas aproximadamente.

Se puso especial atención en la recepción del concreto premezclado, verificándose en cada nota de remisión el tipo de concreto, resistencia, edad a la que alcanzará su resistencia, tamaño máximo del agregado, revenimiento y si contaba con los aditivos requeridos. También fué muy importante vigilar que su temperatura estuviera entre 12 y 32 grados centígrados, puesto que si encuentra más caliente se inicia su fraguado inicial.

#### 4.4) NIVELACION DE ALTURA DE COLUMNAS

El paso a desnivel está trazado longitudinalmente por 16 ejes. Los ejes 1 y 16 corresponden a los muros estribo y del 2 al 15 corresponden a los ejes de las columnas (Figura 4.1).

Las alturas de las columnas van variando conforme se avanza de cualquiera de los dos muros estribos hacia el centro del puente, a continuación se encuentran las elevaciones de cada una de ellas:

EJE	COLUMNA	ALTURA (M)
2	Derecha	4.45
	Izquierda	4.38
3	Derecha	4.95
	Izquierda	4.90
4	Derecha	6.60
	Izquierda	6.43
5	Derecha	6.52
	Izquierda	6.27
6	<b>Derecha</b>	<b>6.80</b>
	Izquierda	6.52
7	Derecha	6.57
	Izquierda	6.32
8	Unica	6.55
9	Unica	6.50
10	Unica	6.20
11	Unica	5.95
12	Derecha	5.70
	Izquierda	5.95
13	Derecha	5.45
	Izquierda	5.73
14	Derecha	4.70
	Izquierda	4.97
15	Derecha	4.50
	Izquierda	4.47

Durante el proceso de construcción de las columnas se cuidaron los ejes y niveles indicados en planos, mediante brigadas de topografía (una de la supervisión y otra de la contratista), con el fin de evitar desplomes de las columnas y desplazamientos de los ejes. Este trabajo se hizo desde el desplante de la cimentación para no acarrear errores.

La manera más confiable de nivelar las columnas es mediante un levantamiento topográfico, sin embargo, los maestros de obra nivelan estos elementos con un método empírico, que les facilita comprobar por sí mismos qué tan desplomada se encuentra la pieza, y verificarlo cuantas veces sea necesario sin la presencia de los topógrafos, el método consiste en lo siguiente:

1. Colocar una varilla o alambre en forma horizontal, es decir, formando un ángulo recto con la cimbra y/o acero longitudinal de la columna (varillas verticales). Ya desplantados, se amarra al acero exactamente a la mitad del diámetro de la columna.
2. En uno de los dos extremos de la varilla o alambre, se amarra un hilo o alambre delgado que quede colgando casi hasta el suelo.
3. En el alambre que está colgando se amarra una piedra en la parte más baja, que servirá como plomo.
4. Ya teniendo lo anterior, se procede a hacer la nivelación tomando dos medidas lo más separadas que sea posible (una arriba y otra abajo), éstas son la distancia entre la cimbra o acero y el alambre. Cuando está bien nivelada la pieza, las dos medidas no varían; en caso de no ser iguales, se alinea o endereza al acero y/o la cimbra y se repite el procedimiento las veces que sea necesario (Figura 4.7).

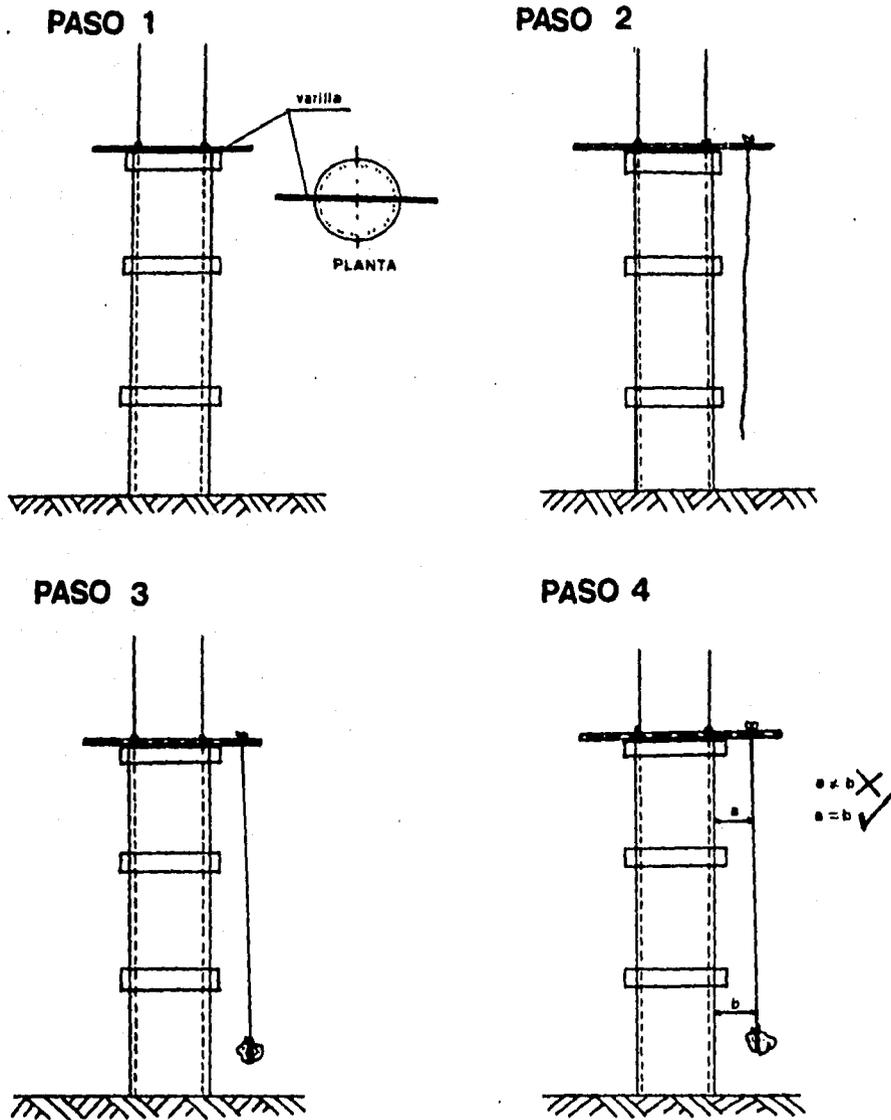


FIGURA 4.7.- MÉTODO EMPÍRICO PARA LA NIVELACIÓN DE COLUMNAS

## CAPITULO 5 - FABRICACION DE ELEMENTOS PRESFORZADOS

La integración de elementos prefabricados de alta calidad en una obra se realiza por varias razones, mejor presentación que la tradicional, precios competitivos, reducción en el tiempo y la posibilidad de permitir procesos constructivos rápidos y limpios.

Existen piezas prefabricadas en concreto simple por ejemplo, bloques y casetones, guarniciones, tubos de albañal, etc., en concreto reforzado, como zapatas, columnas, muros, y otros, y en concreto presforzado como losas, muros y traveses de diversas secciones.

Destacan por su importancia los elementos de concreto presforzado ya que su principal ventaja es la optimización que se logra en el uso de los materiales componentes, permitiéndole manejar grandes piezas con un peso notablemente inferior al que tendrían en concreto reforzado para situaciones similares.

## 5.1) SITIO Y PROGRAMA DE FABRICACION

En el paso a desnivel en estudio, las traveses y tabletas son elementos prefabricados y presforzados. Los distintos tipos de traveses presforzados son: TA (traveses de apoyo), que generalmente apoyados en columnas; TC (traveses centrales), soportados por traveses de apoyo en sus extremos; y TCA (traveses de apoyo y centrales), que en un extremo van apoyados en una columna, y en el otro, en una trabe de apoyo; cabe mencionar que éstas traveses no se usaron en el puente principal (Figura 5.1).

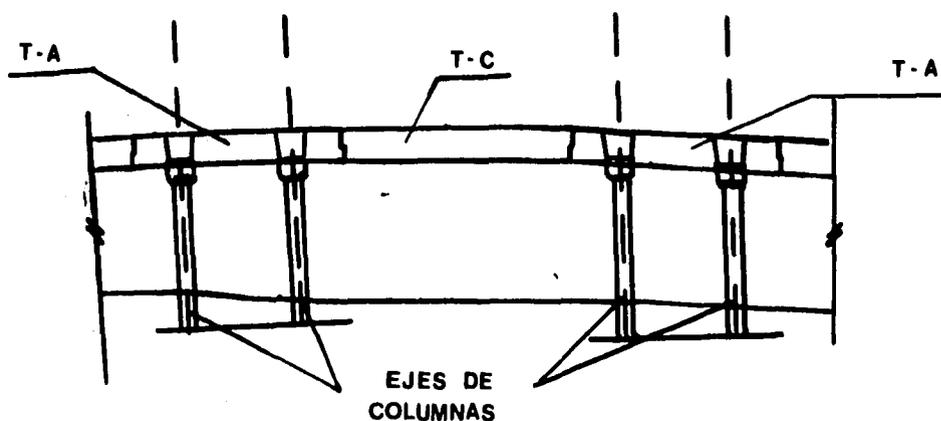
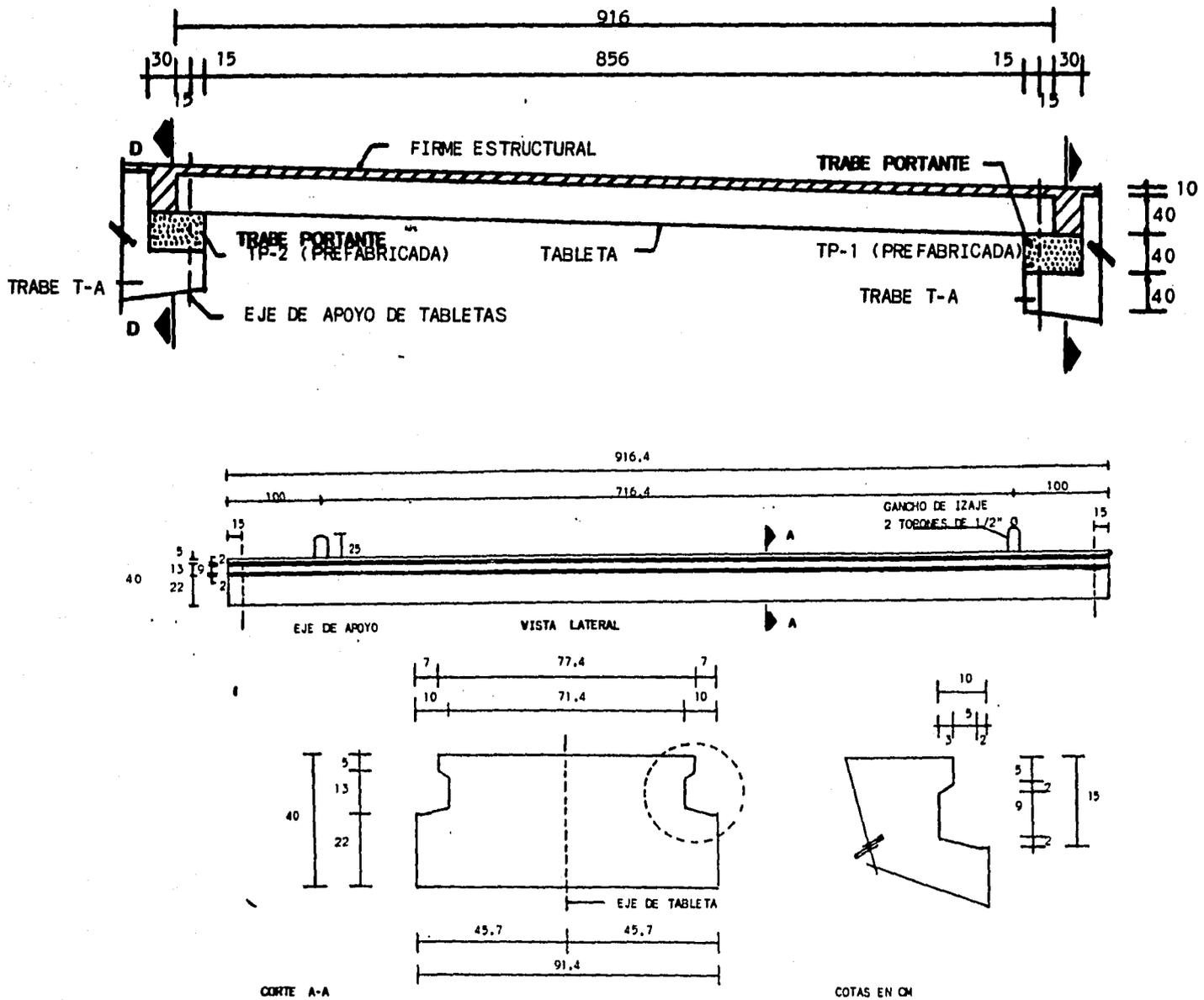


FIGURA 5.1.- TIPOS DE TRABES

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

Las tabletas son traveses de menores dimensiones que sirven para librar claros más pequeños y sobre todo cuando en esos claros no se cumple el gálibro mínimo (4,50m). Dichas tabletas se apoyan directamente en dos traveses portantes, TP-1 en un extremo y TP-2 en el otro, las que a su vez son soportadas por ocho traveses de apoyo (cuatro en cada extremo) (Figura 5.2 y 5.2a).



**FIGURA 5.2A**

**FIGURAS 5.2 Y 5.2A.- TABLETAS PRESFORZADAS**

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

El ancho del puente principal está compuesto por cuatro traves de apoyo y centrales, cada una de 24.00 m de longitud aproximadamente.

El puente principal consta de 56 traves (28 de apoyo y 28 centrales) y 16 tabletas de 9.76 m de longitud. Las longitudes de las traves son variables debido a las curvas que presenta el puente, sin embargo, la longitud total de estos elementos en conjunto entre los dos muros estribos es de 334.05 m, (Figuras 5.3 y 5.3a y Tabla de dimensiones).

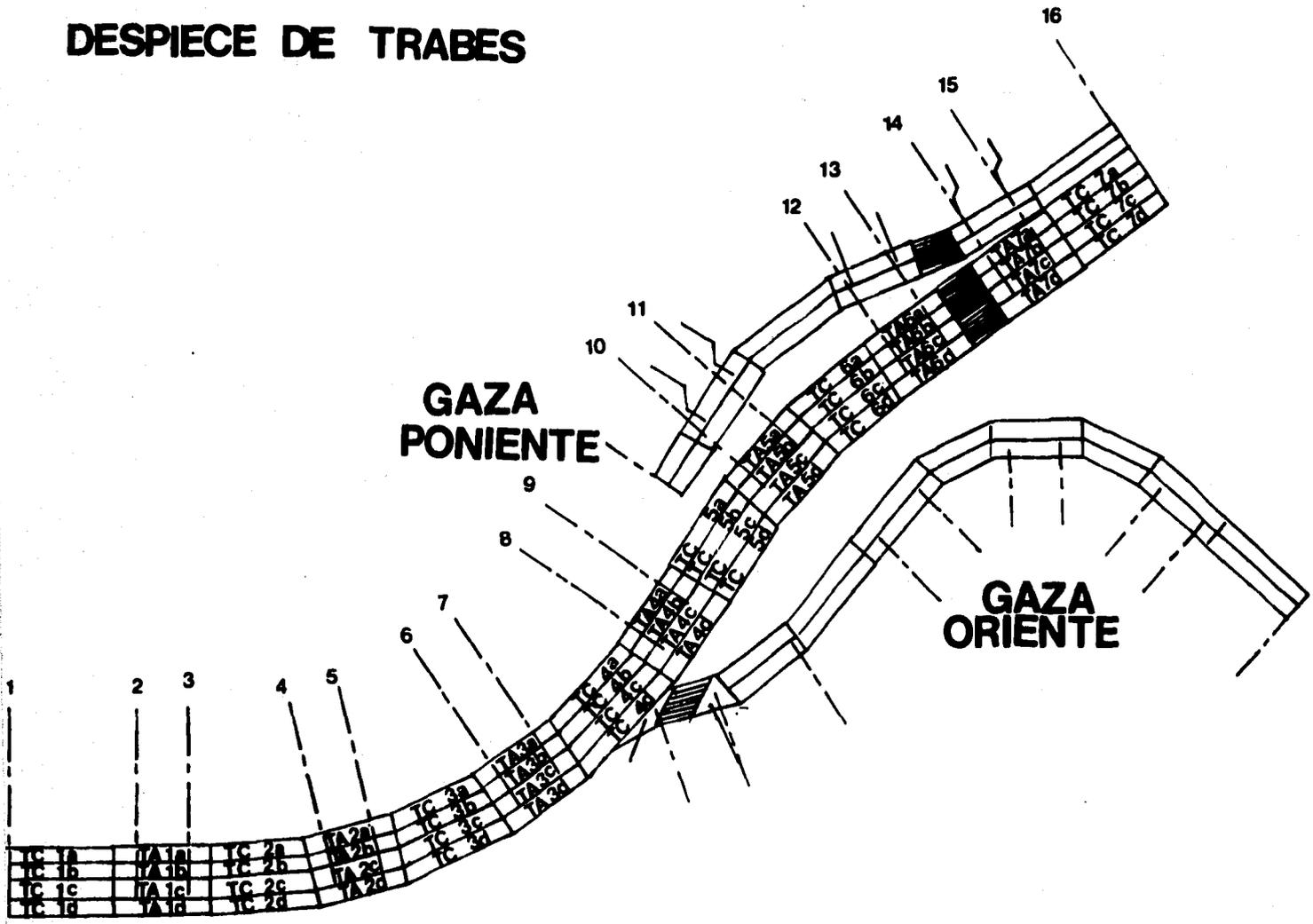
En la tabla de dimensiones se presentan las medidas de acuerdo al tipo de trave de que se trate. Las medidas de estas varían no solo debido a las curvas que presenta el puente, sino también por la ubicación de cada una de ellas, tomando en cuenta que los puntos de giro de las traves deben coincidir al momento del montaje y que los elementos deben admitir la pendiente mencionada con anterioridad. Tomando en cuenta los aspectos anteriores se presentan los diagramas de los elementos tipo, acotando con letras las longitudes para referirse a la tabla de dimensiones.

Estos elementos fueron fabricados en la planta llamada INDUSTRIAL PREFABRICADORA, S.A. DE C.V., localizada en Rancho Solache, Texcoco domicilio conocido.

La programación de los elementos presforzados se hace con dos de meses antes del inicio de la obra, ya que los planos se someten a revisión de estructuristas de la planta de fabricación y, en su caso, se consultan dudas con el proyectista.

El ritmo normal de fabricación es de una pieza por día, pero, debido a que esta fabricación se lleva a cabo al aire libre, cuando llueve se interrumpe la producción, haciéndose una pieza en dos días.

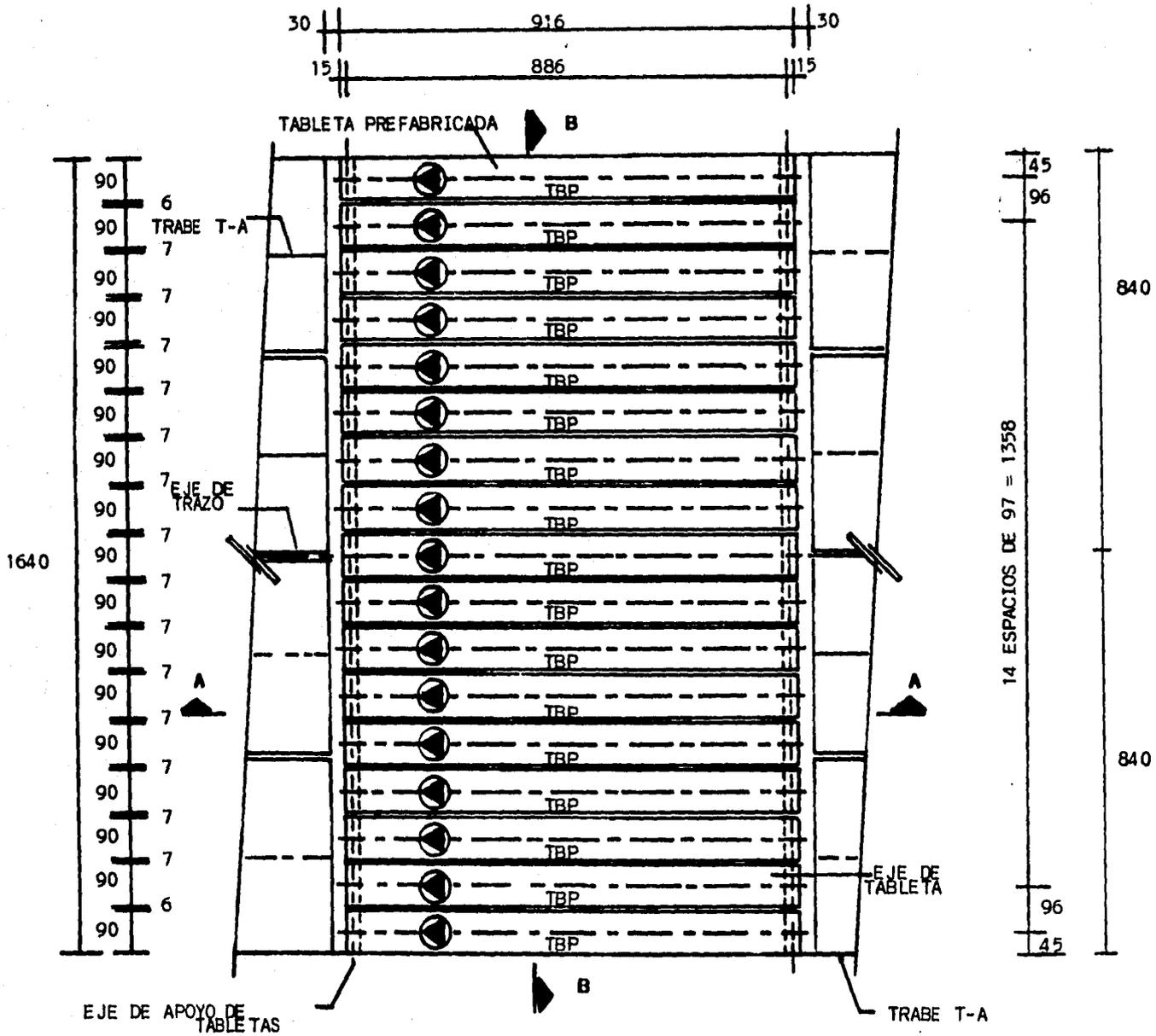
# DESPIECE DE TRABES



# PUENTE PRINCIPAL

FIGURA 5.3.- DESPIECE DE TRABES

ELEMENTOS PRESFORZADOS



PLANTA

FIGURA 5.3A.- TABLETAS PREFABRICADAS

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

TRABES	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	(cm)	(cm)	(cm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
TC 1a, b, c, d	3 1	2 9	3 7	12.555	12.555	12.555	12.555	2.001	2.001	2.001	2.001	24.369	2.001	2.001
TC 2a	1 1	1 1	1 3	11.321	11.416	11.922	12.209	2.019	1.979	2.029	1.929	22.903	2.081	1.919
TC 2b	1 1	1 1	1 3	12.228	11.937	12.442	12.718	2.022	1.978	2.029	1.929	23.931	2.079	1.921
TC 2c	1 1	1 1	1 3	12.736	12.457	12.962	13.226	2.023	1.977	2.031	1.931	25.959	2.078	1.922
TC 2d	1 1	1 1	1 3	13.244	12.977	13.482	13.735	2.024	1.976	2.031	1.931	25.983	2.077	1.923
TC 3a	1 2	1 1	1 4	11.962	11.862	11.136	11.136	1.926	2.074	1.894	2.039	22.972	1.926	2.074
TC 3b	1 2	1 1	1 4	12.611	12.611	11.886	11.886	1.926	2.074	1.894	2.039	23.771	1.926	2.074
TC 3c	1 2	1 1	1 4	13.361	13.361	12.635	12.635	1.926	2.074	1.894	2.039	25.271	1.926	2.074
TC 3d	1 2	1 1	1 4	14.111	14.111	13.385	13.385	1.926	2.074	1.894	2.039	25.761	1.926	2.074
TC 4a	1 2	1 1	1 4	12.839	12.872	12.141	12.104	1.929	2.071	1.893	2.039	24.252	1.922	2.078
TC 4b	1 2	1 1	1 4	13.597	13.629	12.897	12.863	1.929	2.071	1.893	2.039	25.767	1.922	2.078
TC 4c	1 2	1 1	1 4	14.356	14.386	13.654	13.621	1.929	2.071	1.893	2.039	27.283	1.922	2.078
TC 4d	1 2	1 1	1 4	15.114	15.143	14.411	14.381	1.929	2.072	1.893	2.039	28.798	1.922	2.078
TC 5a	1 4	1 3	1 6	10.914	11.247	11.497	11.174	2.059	1.941	2.015	1.964	21.681	1.993	2.007
TC 5b	1 4	1 3	1 6	10.847	10.988	11.238	10.907	2.059	1.941	2.015	1.964	21.155	1.992	2.008
TC 5c	1 4	1 3	1 6	10.379	10.731	10.979	10.639	2.061	1.939	2.014	1.964	20.629	1.991	2.009
TC 5d	1 4	1 3	1 6	10.142	10.471	10.721	10.371	2.062	1.939	2.014	1.963	20.103	1.989	2.011
TC 6a	1 1	1 0	1 3	11.449	11.208	11.686	11.916	2.024	1.976	2.031	1.936	22.397	2.072	1.928
TC 6b	1 1	1 0	1 3	10.566	10.714	11.193	11.433	2.023	1.977	2.029	1.935	21.419	2.073	1.927
TC 6c	1 1	1 0	1 3	10.341	10.219	10.699	10.851	2.022	1.971	2.029	1.935	20.444	2.075	1.926
TC 6d	1 1	1 0	1 3	10.003	9.725	10.204	10.468	2.019	1.981	2.028	1.935	19.468	2.076	1.925
TC 7a, b, c, d	4 2	3 9	4 8	12.566	12.566	12.566	12.566	2.001	2.001	2.001	2.001	24.391	2.001	2.001

TRABES	O		P		Q		R		S		T	
	(m)		(m)		(m)		(m)		(m)		(m)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
TC 1a, b, c, d	5.60	3.50	0.00	2.10	2.30	2.30	3.70	3.70	3.80	3.80	3.80	3.80
TC 2a	5.62	3.57	0.00	2.15	2.31	2.35	3.71	3.78	3.99	3.61	4.55	3.05
TC 2b	5.62	3.56	0.00	2.14	2.31	2.34	3.71	3.77	4.00	3.60	4.54	3.09
TC 2c	5.62	3.57	0.00	2.14	2.31	2.34	3.71	3.77	4.01	3.59	4.53	3.07
TC 2d	3.51	5.71	2.11	0.00	2.33	2.34	3.71	3.77	4.02	3.50	4.51	3.09
TC 3a	3.56	5.69	2.13	0.00	2.33	2.33	3.76	3.76	3.12	4.48	3.12	4.48
TC 3b	3.56	5.69	2.13	0.00	2.33	2.33	3.76	3.76	3.12	4.48	3.12	4.48
TC 3c	3.56	5.69	2.13	0.00	2.33	2.33	3.76	3.76	3.12	4.48	3.12	4.48
TC 3d	3.56	5.69	2.13	0.00	2.33	2.33	3.76	3.76	3.12	4.48	3.12	4.48
TC 4a	3.56	5.71	2.13	0.00	2.33	2.34	3.76	3.77	3.14	4.46	3.08	4.52
TC 4b	3.56	5.71	2.13	0.00	2.33	2.34	3.76	3.77	3.14	4.46	3.08	4.52
TC 4c	3.56	5.71	2.13	0.00	2.33	2.34	3.76	3.77	3.14	4.46	3.08	4.52
TC 4d	3.56	5.71	2.13	0.00	2.33	2.34	3.76	3.77	3.14	4.46	3.08	4.52
TC 5a	3.54	5.60	2.12	0.00	2.32	2.30	3.74	3.70	4.35	3.25	3.73	3.87
TC 5b	3.54	5.60	2.12	0.00	2.32	2.30	3.74	3.70	4.35	3.25	3.73	3.87
TC 5c	3.54	5.60	2.12	0.00	2.32	2.30	3.74	3.70	4.36	3.24	3.72	3.88
TC 5d	3.54	5.60	2.12	0.00	2.32	2.30	3.74	3.70	4.37	3.23	3.71	3.89
TC 6a	3.51	5.69	2.11	0.00	2.31	2.33	3.71	3.76	4.02	3.58	4.47	3.13
TC 6b	3.51	5.69	2.11	0.00	2.31	2.33	3.71	3.76	4.01	3.59	4.48	3.12
TC 6c	3.51	5.69	2.11	0.00	2.31	2.30	3.71	3.76	4.00	3.69	4.49	3.11
TC 6d	3.51	5.71	2.11	0.00	2.31	2.34	3.71	3.77	3.99	3.61	4.50	3.10
TC 7a, b, c, d	3.50	5.60	2.10	0.00	2.30	2.30	3.70	3.70	3.80	3.80	3.80	3.80

TABLA DE DIMENSIONES DE TRABES T-C

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

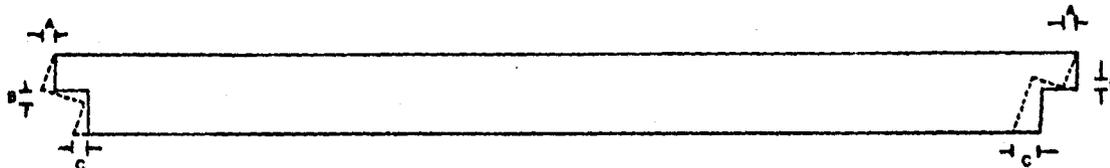
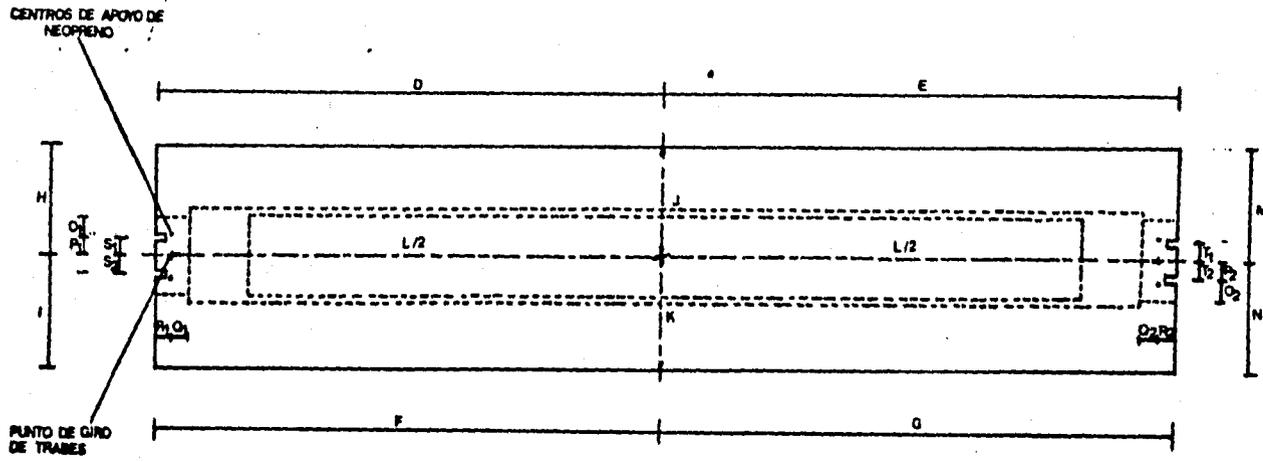
	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (m)	E (m)	F (m)	G (m)	H (m)	I (m)	J (m)	K (m)	L (m)	M (m)	N (m)
TA 1a.b.c.d.	3, 3	2, 6	2, 8	4.935	6.006	6.006	4.935	4.935	6.006	6.006	4.935	4.935	6.006	6.006
TA 2a.b.c.d.	0, 7	0, 5	0, 6	4.929	6.001	6.001	4.929	4.929	6.001	6.001	4.929	4.929	6.001	6.001
TA 3a.b.c.d.	1, 4	1, 1	1, 2	4.931	6.001	6.001	4.931	4.931	6.001	6.001	4.931	4.931	6.001	6.001
TA 4a.b.c.d.	1, 1	0, 9	1, 0	4.932	6.002	6.002	4.932	4.932	6.002	6.002	4.932	4.932	6.002	6.002
TA 5a.b.c.d.	1, 4	1, 1	1, 2	4.932	6.002	6.002	4.932	4.932	6.002	6.002	4.932	4.932	6.002	6.002
TA 6a.b.c.d.	1, 4	1, 1	1, 2	4.932	6.002	6.002	4.932	4.932	6.002	6.002	4.932	4.932	6.002	6.002
TA 7a.b.c.d.	3G, 1	2H, 5	2I, 7	4.934	6.005	6.005	4.934	4.934	6.005	6.005	4.934	4.934	6.005	6.005

	O (m)	P (m)		Q (m)		R (m)		S (m)		T (m)		U (m)	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
TA 1a.b.c.d.	4.935	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	5.535	5.535
TA 2a.b.c.d.	4.929	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	5.530	5.530
TA 3a.b.c.d.	4.931	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	5.531	5.531
TA 4a.b.c.d.	4.932	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	5.532	5.532
TA 5a.b.c.d.	4.932	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	5.532	5.532
TA 6a.b.c.d.	4.932	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	5.532	5.532
TA 7a.b.c.d.	4.934	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	5.535	5.535

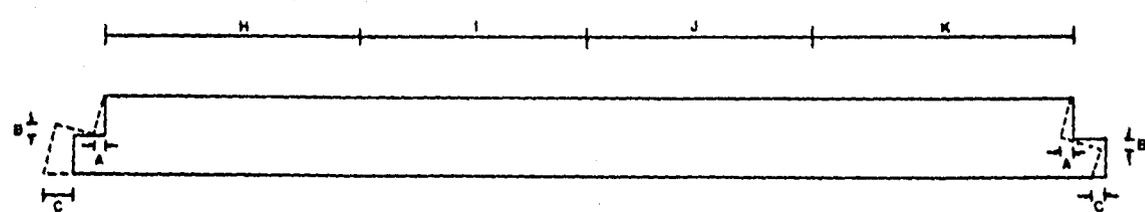
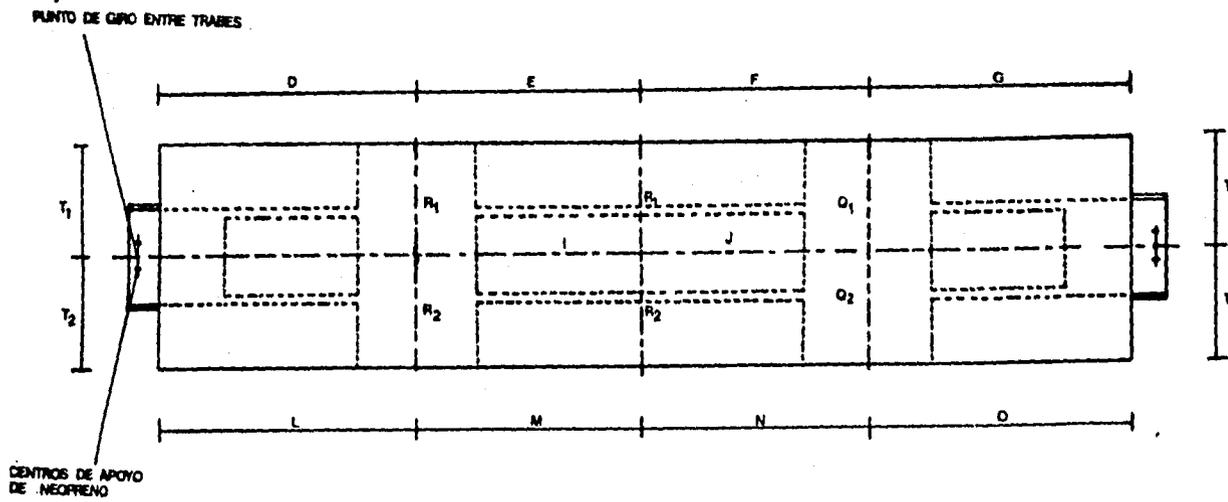
TABLA DE DIMENSIONES DE TRABES T-A

# ELEMENTOS PRESFORZADOS

## T-C TIPO



## T-A TIPO



## TRABES TIPO

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

La cimbra para la fabricación de estos elementos presforzados es metálica, de aproximadamente 50 m de longitud, por lo tanto, para determinar el tamaño de la trabe, no se corta la cimbra, simplemente se utiliza otra cimbra metálica como frontera, llamada *tapón*, para hacer la terminación de la trabe en sus dos extremos.

Se utilizan distintas cimbras debido a que las trabes se cuelan por partes. La cimbra exterior, que da la forma a la trabe; la cimbra interior llamada *tina*, que aligera la pieza, y una cimbra muerta para colar la losa de la trabe. Por el momento sólo se mencionarán los tipos de cimbra que se usaron, dando la explicación del colado posteriormente en este mismo capítulo (Figura 5.4). En las tabletas solamente se utiliza una cimbra rectangular y otra de frontera para hacer la terminación de la pieza (Figura 5.5). En todos los casos se engrasa previamente el molde para que la pieza salga fácilmente.

### CIMBRA DE TRABES

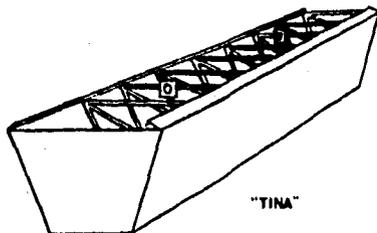
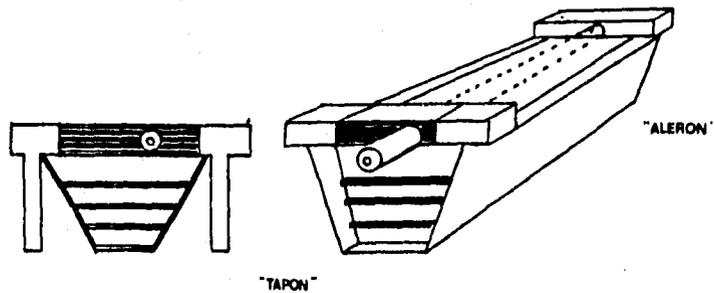
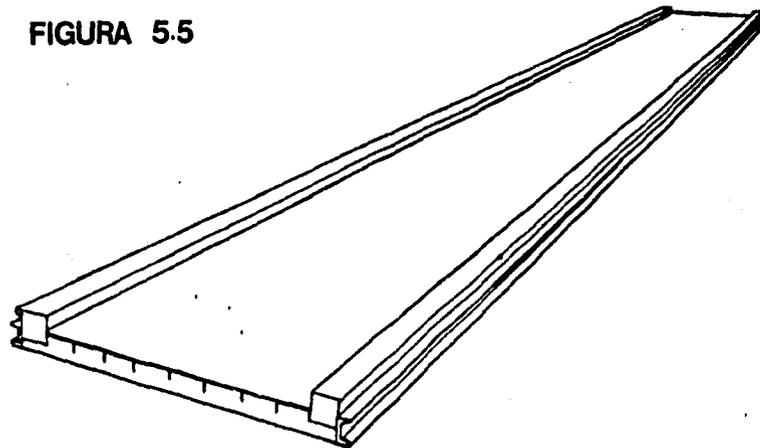


FIGURA 5.4

FIGURA 5.5



CIMBRA DE TABLETAS PRETENSADAS

FIGURA 5.4.- CIMBRA DE TRABES

FIGURA 5.5.- CIMBRA DE TABLETAS

5.2) COLOCACION DEL ACERO

La colocación del acero es la actividad que representa más tiempo y cuidado, por las diferencias de armado de cada una de las piezas.

El armado de la trabe se hace fuera del molde por comodidad, pero se respetan estrictamente las dimensiones de proyecto. Este armado se lleva un promedio de dos días con todo y accesorios dependiendo del armado.

Generalmente las trabes de apoyo (TA) tienen un armado más robusto que las trabes centrales, debido a que estas van a soportar también el peso de las trabes centrales (TC).

Las trabes TA están armadas longitudinalmente, tanto en la parte superior como en la parte inferior, con ocho varillas del # 12 acomodadas por pares, en la parte superior con separaciones de 0.90 y 0.50 m, y en la parte inferior 0.25 y 0.50 m. También tienen varillas del # 3 colocadas a 0.20 m en la losa de la trabe, y varillas del # 4 a cada 0.20 m en todo el perímetro de la pieza, los estribos son del # 4 a cada 0.20 m (Figuras 5.6 y 5.7).

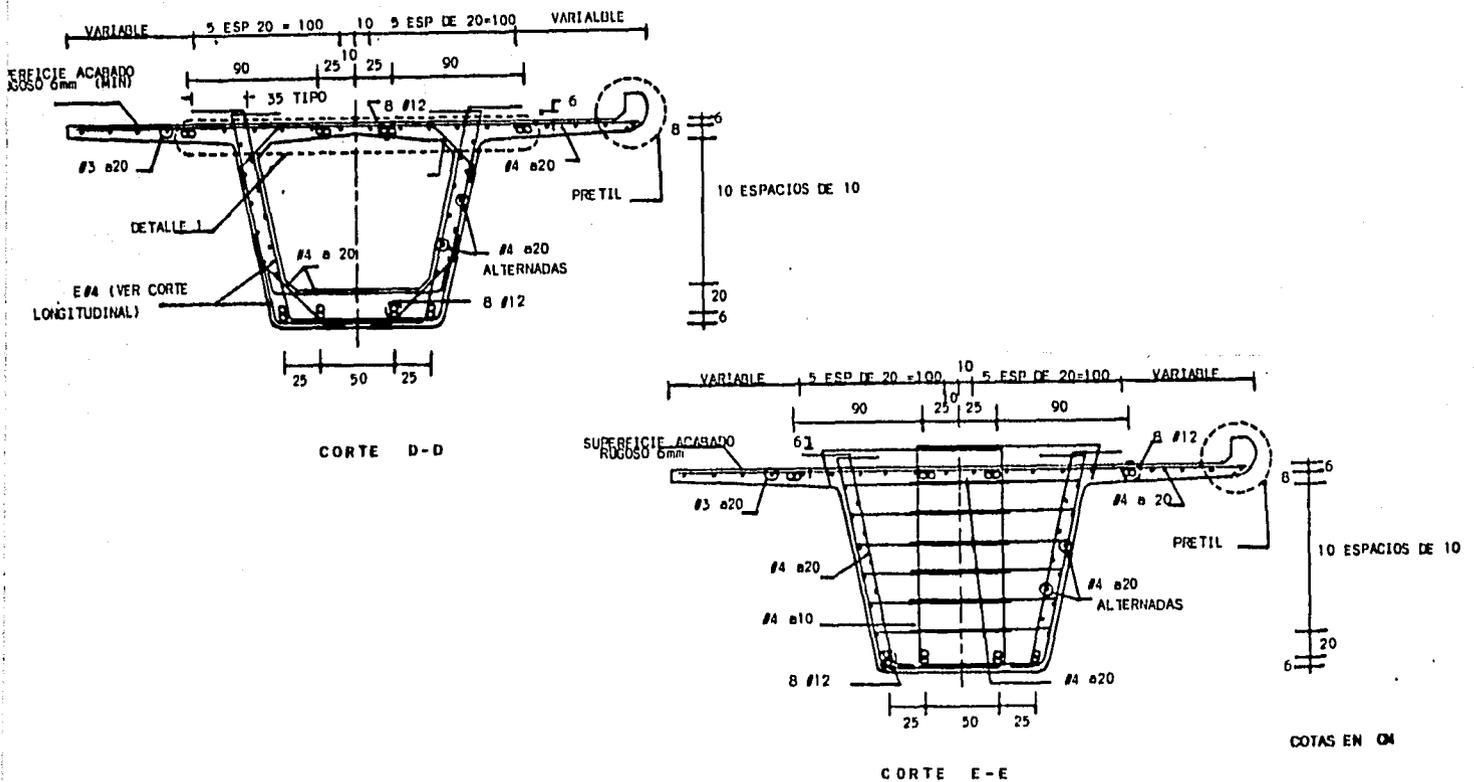


FIGURA 5.6 .- ARMADO DE TRABE T-A

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

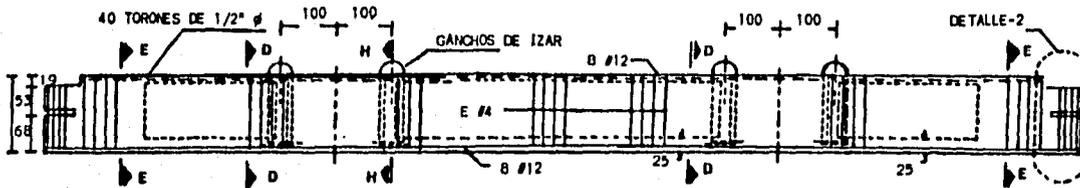


FIGURA 5.7.- ARMADO DE TRABE T-A

Las trabes TC están armadas longitudinalmente con dos varillas del # 10 en la parte superior, y en la parte inferior por dos pares de varillas del # 12, ambos separados 1.48 m. En el perímetro de la pieza hay varillas del # 3 a cada 0.20 m y como estribos se tienen varillas del # 3 a cada 0.30 m (Figuras 5.8 y 5.9).

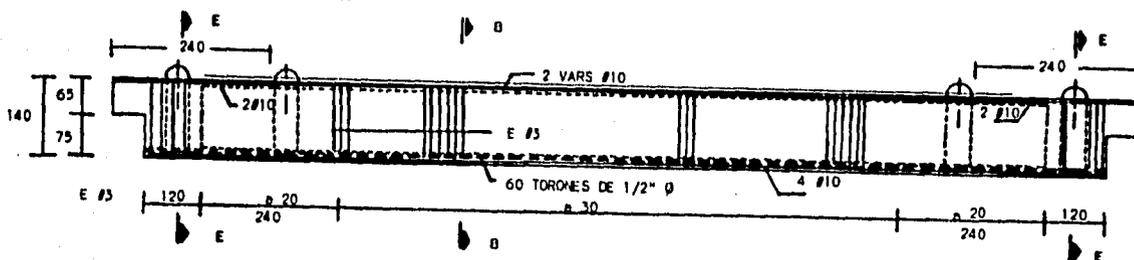


FIGURA 5.8.- ARMADO LONGITUDINAL DE TRABE T-C

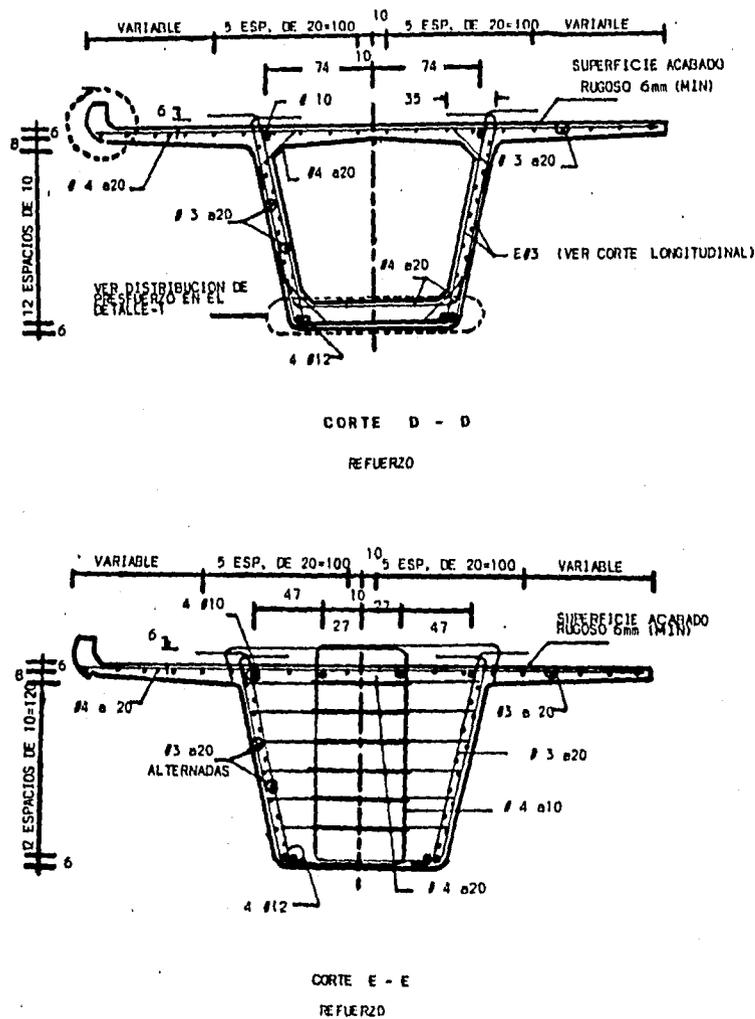


FIGURA 5.9.- ARMADO DE TRABE T-C

En lo que se refiere a las tabletas, el armado es mucho más sencillo. Longitudinalmente en la parte superior tiene 4 varillas del # 4 y en la parte inferior 4 varillas del # 6, todas separadas 0.14 m entre sí. Cuentan con dos estribos, uno de 0.33 x 0.46 m, y el otro de 0.30 x 0.62 m, ambos de varilla # 3 a cada 0.20 m; asimismo existen unos ganchos en la parte inferior de la pieza hechos con varilla del # 3 a cada 0.30 m (Figura 5.10).

En lo que se refiere a las trabes portantes TP-1 y TP-2, que soportan las tabletas, ambas son piezas escalonadas armadas longitudinalmente en el lecho superior por 6 varillas del # 6 de 16.40 m, y dos bastones del # 6 (uno en cada extremo), de 3.35 m de longitud cada uno; en la parte inferior están armadas con cuatro juegos de 6 varillas del # 6 de 4.65 m de longitud cada uno (Figura 5.11).

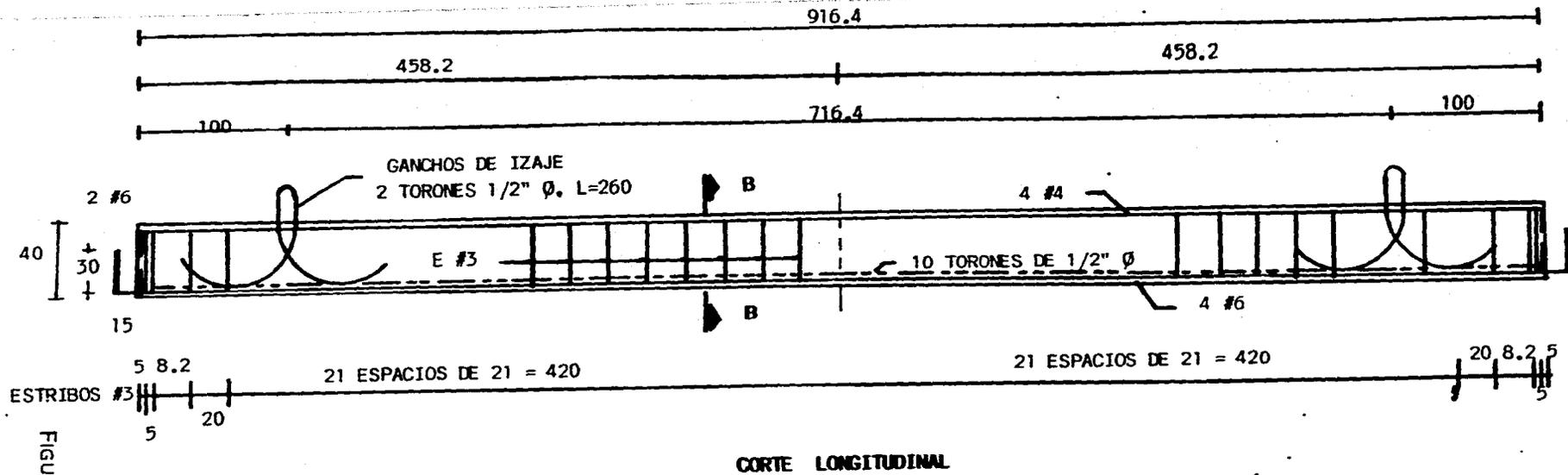
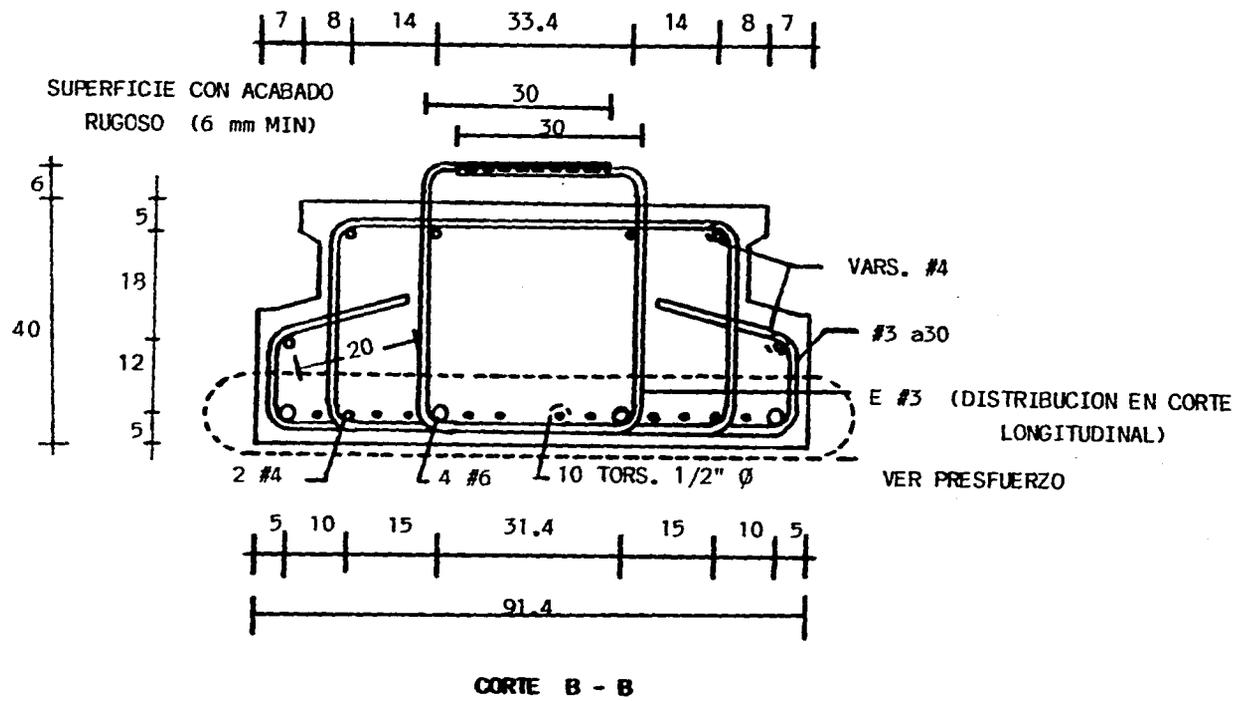


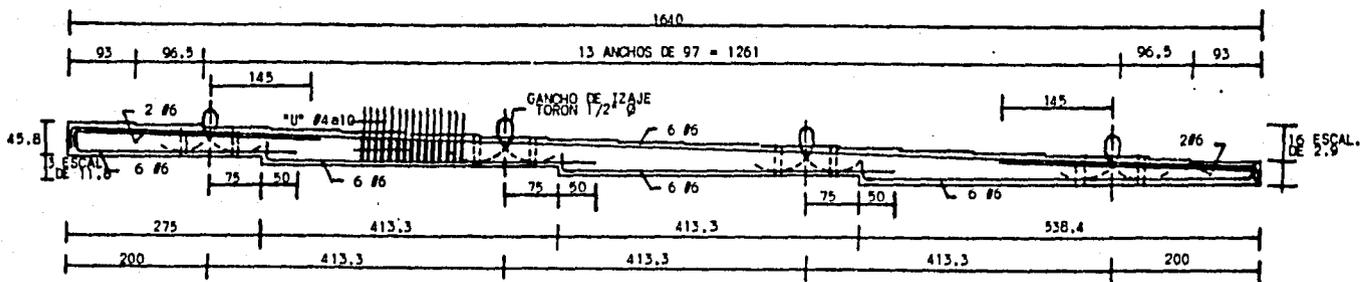
FIGURA 5.10.- ARMADO DE TABLETAS



ELEMENTOS PRESFORZADOS

# ELEMENTOS PRESFORZADOS

TRABE PORTANTE TP - 1



TRABE PORTANTE TP - 2

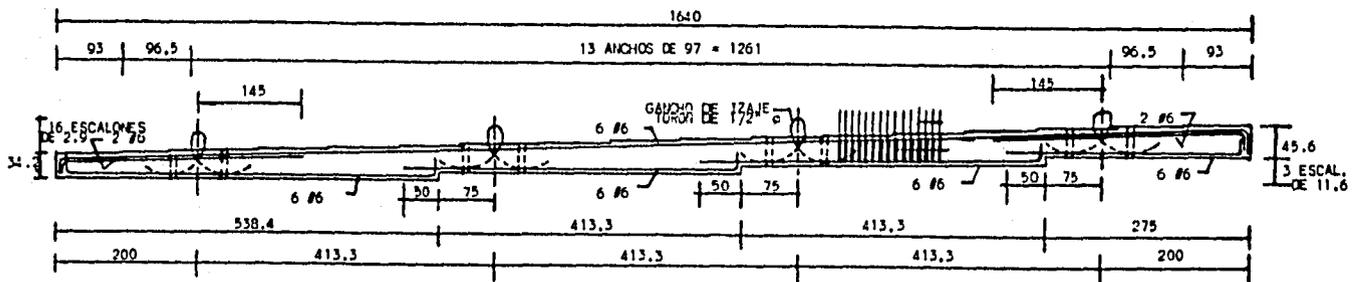


FIGURA 5-11

FIGURA 5.11.- ARMADO DE TRABES PORTANTES

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

La cantidad y localización del acero de las piezas varía de acuerdo al sentido del momento flexionante que se presente en el elemento. Los momentos negativos se presentan en los apoyos y los momentos positivos actúan al centro de los claros, por lo tanto, en los apoyos en los que los momentos negativos actúan sobre las TA, se colocaron torones (cables que se tensan durante la fabricación para producir el presfuerzo) de 1/2" de diámetro en la parte superior de las traveses. En cambio, en los lugares en donde se presentan momentos positivos actuando sobre las TC y las tabletas, se colocaron torones de 1/2" de diámetro en la parte inferior de los elementos presforzados (Figura 5.12).

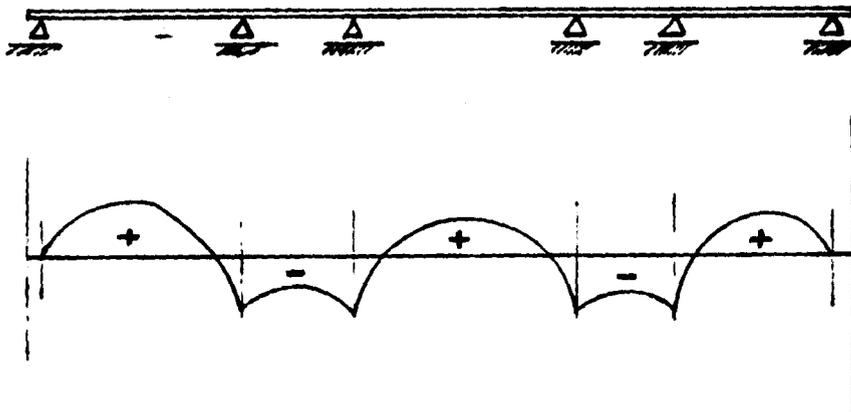


FIGURA 5.12.- DIAGRAMA DE MOMENTOS

Antes de introducir el armado a la cimbra se hace una limpieza al molde y se "dibuja" la pieza en él. Una vez dibujada, se ponen las fronteras (tapones en los extremos), y en la parte superior se colocan los llamados *alerones*. Posteriormente se introduce el armado al molde y se revisa minuciosamente para evitar que quede chueco.

Las traveses TA y TC son aligeradas en su alma en casi toda su longitud, excepto en las zonas macizas, a 1.80 m a cada extremo, en donde se da la mayor carga, incluyendo 0.60 m de las ménsulas para su apoyo (Figuras 5.13 y 5.14). El término "zonas macizas" se refiere a la parte de la travesa hecha a base de concreto compacto, es decir, que no tiene ningún hueco.



FIGURA 5.13.- ZONA ALIGERADA DE TRAVE T-A

# ELEMENTOS PRESFORZADOS

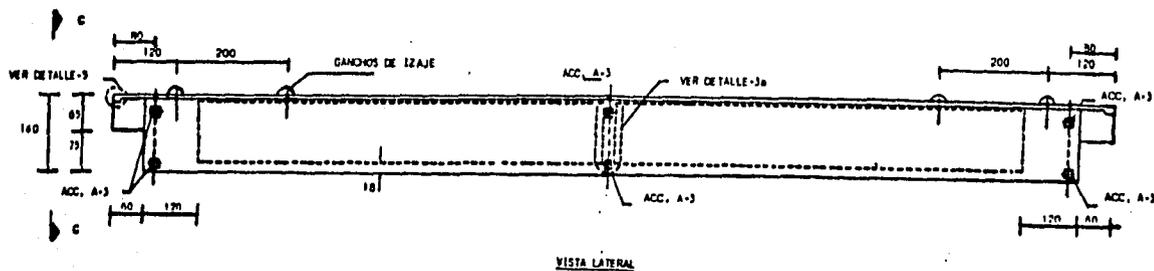
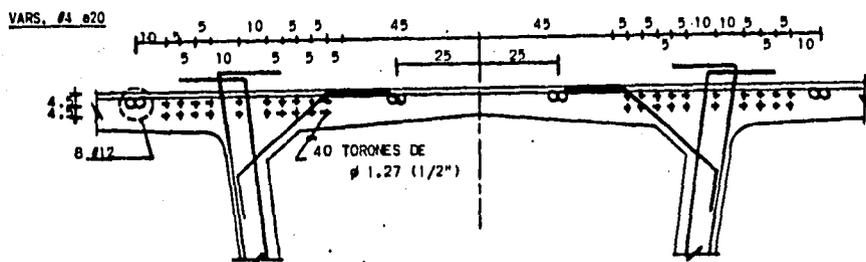


FIGURA 5.14.- ZONA ALIGERADA DE TRABE T-C

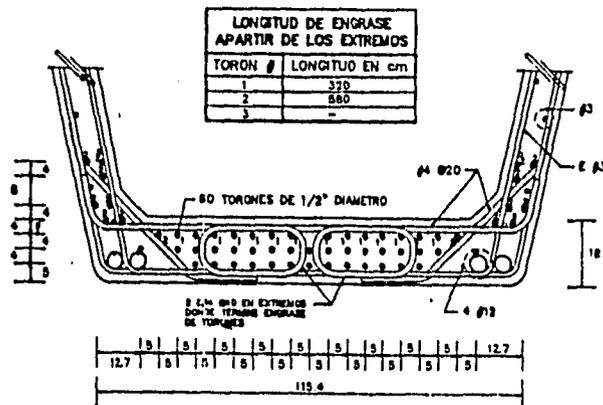
En la parte superior de las traves de apoyo se colocaron 40 torones por pares, teniendo 20 en cada extremo. En la parte inferior central de las traves centrales se colocaron 44 torones, acomodados en su mayoría de tres en tres. En las tabletas hay 10 torones en el lecho inferior de la pieza distanciados uno de otro aproximadamente 0.10 m (Figuras 5.15, 5.16 y 5.17).



DISTRIBUCION DEL PRESFUERZO  
EN TRABE DE APOYO

FIGURA 5.15

FIGURA 5.16



FIGURAS 5.15 Y 5.16.- PRESFUERZO EN TRABES T-A Y T-C RESPECTIVAMENTE

## ELEMENTOS PREFORZADOS

FIGURA 5.17

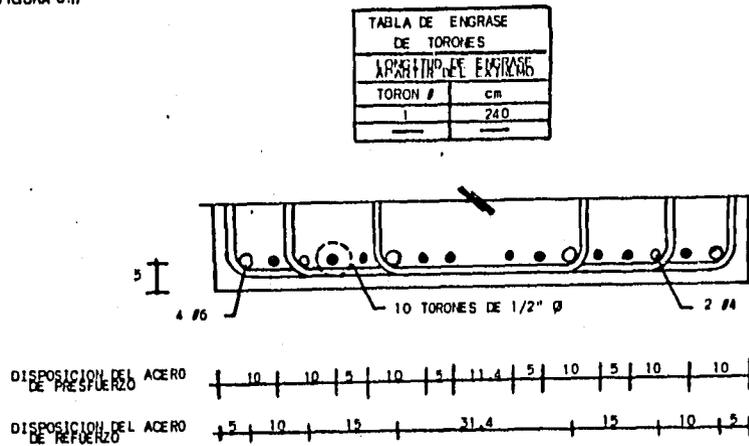


FIGURA 5.17.- PREFUERZO EN TABLETAS

### 5.3) PREFUERZO

El prefuerzo consiste en crear un estado de esfuerzos y deformaciones dentro de un material, a fin de mejorar su comportamiento y permitir mayores cargas que las que resistirían esas mismas secciones en situaciones normales de trabajo.

El método más común es aplicar un esfuerzo de compresión al material, en este caso al concreto, con el que se equilibrarán total o parcialmente los esfuerzos de tensión que surgirán en él durante las condiciones de servicio.

El prefuerzo dota al elemento de una gran resistencia a la fatiga. Se ha demostrado que pueden hacerse inversiones de carga (carga y descarga) en forma prácticamente ilimitada sin reducir su resistencia última.

El concreto pretensado es el más usado de los concretos preforzados, por su economía y facilidad de construcción que significa el que la pieza se fabrique y tense en planta, dejando para ejecución en obra exclusivamente su montaje.

El prefuerzo tiene la ventaja de reducir el peralte de la pieza. Con acero de refuerzo que habitualmente se usa (varillas), no se lograría el peralte de 1.40 m que tienen las piezas para los claros que se manejan en el puente, se incrementaría mucho la sección de las traveses y la probabilidad de falla sería mayor.

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

Para soportar las cargas a las que van a estar sometidas las piezas, antes del colado se tensaron los torones aplicándoles una fuerza de 13,700 kg con un gato de tensado de capacidad de 132,000 kg. Cabe mencionar que la ruptura de los torones se da a los 19,000 kg; el proyecto solicita que los cables se sometan a una fuerza del 70% de su esfuerzo máximo, por lo que, al estar bajo una tensión de 13,700 kgs, trabajan al 72% de su esfuerzo máximo, cumpliendo con las especificaciones. Debido a que las tabletas, en comparación de las trabes son inferiores en sus dimensiones, los torones de las primeras se sometieron a una fuerza de tensado igual a 13,300 kgs, 70% de su esfuerzo máximo.

Cuando se tiene localizada la posición de los torones se coloca una guía (calavera) para evitar que se muevan durante el tensado y colado. Ya tensado el elemento, se colocan unas placas de acero y un barrilete (cilindro de acero con cuña), cuya función es evitar el regreso del torón después de tensarlo (Figura 5.18).

### ANCLAJE PARA PRETENSADO

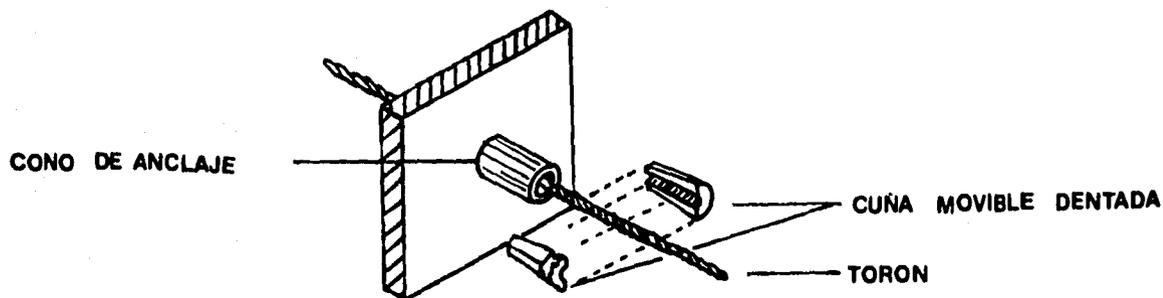


FIGURA 5.18.- ANCLAJE PARA PRETENSADO

El tensado de los torones se hace en dos partes, la primera consiste en aplicar la mitad de la magnitud de la fuerza final, es decir, la fuerza a la que se someterán los cables, ya que la tensión especificada es muy grande y se teme que al aplicarla sin interrupción se suelte algún cable o se mueva la calavera; y en la segunda parte se llega a la tensión de proyecto (fuerza final). La tensión se hace gradualmente, ya que de esa manera se tiene mayor seguridad.

#### 5.4) COLADO

El colado de las tabletas no tiene ninguna dificultad, ya que se vuelan monólicamente después de haber tensado los cables, y finalmente se procede al curado siguiendo el mismo curso que las trabes.

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

Debido a que las traves presforzadas son aligeradas en sus almas el colado se hace en tres etapas. En la primera se cuela la losa inferior de las traves hasta el nivel inferior de la zona aligerada, teniendo un espesor de 0.25m. En el caso de las traves TC, antes de colar dicha losa, se tensaron los torones. La segunda etapa consiste en formar la parte hueca de la pieza colando las paredes de la trave hasta la zona de los alerones, para esto se coloca la *tina* sobre la losa inferior de la trave colada en la primera etapa. Una vez fraguado el concreto de las paredes se retira la cimbra y se continúa con el armado de la parrilla y el tensado de los cables de la losa superior de la pieza (el tensado solamente en el caso de las traves TA); para sostener dicho armado se deja ahogada dentro de la trave, cimbra hecha con desperdicio de acero y lámina de cartón o con malla, con la finalidad de tener un material que resista el concreto que se colará encima.

Habiendo colado la losa superior, y después de 3 horas, se cubre la pieza con lona y se procede al curado a vapor para agilizar el proceso, que puede llevarse entre 8 y 16 horas dependiendo del clima, pero por lo general tarda alrededor de 8 horas. Este tipo de curado es muy eficiente y se basa en el principio de la olla de presión, en donde por un agujero se inyecta vapor mediante una manguera; teniendo el calor aprisionado el tiempo que sea necesario, se cura perfectamente la pieza, inclusive se cura mejor que los testigos (cilindros de concreto utilizados para pruebas de control de calidad). Ya concluido el tiempo de curado, se procede a probar los cilindros; si la calidad del concreto se encuentra al 80% de su resistencia se suspende el vapor, se deja reposar y se cortan los cables de presfuerzo. Se retiran las fronteras (cimbra metálica para determinar el tamaño de la pieza), y es hasta ahora que se puede retirar el molde.

La resistencia del concreto está entre 400 y 450 kg/cm<sup>2</sup>. Este se elabora en la dosificadora ubicada en la misma planta, la cuál está automatizada; tiene tres silos que contienen cemento y se manejan desde una cabina, cuenta con una báscula para pesar el cemento y otra para pesar los demás materiales (arena, grava, caliza y agua); el banco de éstos materiales se encuentra junto a los silos, la dosificadora ya tiene la proporción de cada uno de los materiales; ya pesados, los mezcla y el equipo coloca directamente el concreto en la pieza. Se hacen pruebas constantemente para medir tanto su resistencia como su módulo de elasticidad.

Se ha buscado la forma de equilibrar la calidad del concreto sin reducir el módulo de elasticidad, ya que entre más resistente es el concreto, el módulo de elasticidad disminuye, es decir, se vuelve más frágil. Los agregados basálticos son muy resistentes, pero el módulo elástico es notablemente bajo. Para lograr el equilibrio entre rigidez y resistencia es necesario mezclar materiales; en éste caso se mezcla caliza con basalto para lograr una cierta flexibilidad, dada por la caliza, que es el material más blando. El equilibrio al que se ha llegado para la elaboración del concreto en la fabricación de los

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

elementos presforzados es utilizando las siguientes proporciones: 75% de basalto y el 20 ó 25% de caliza (Figura 5.19).

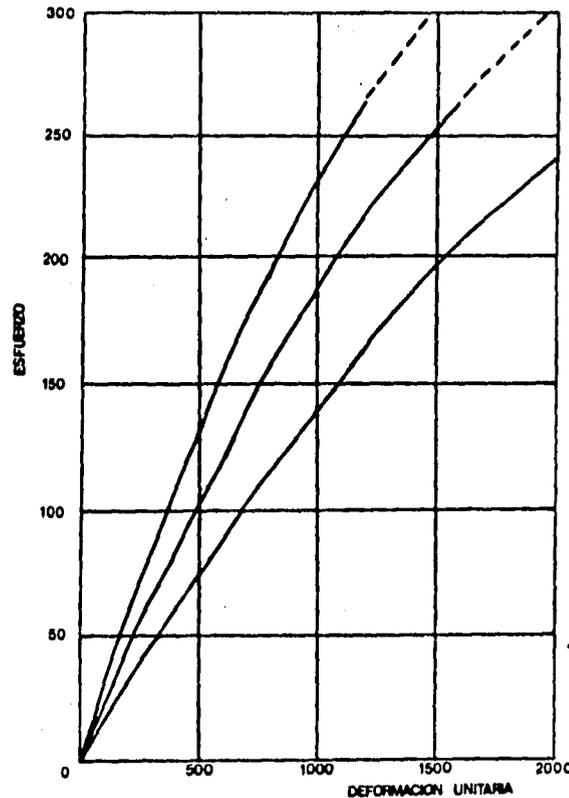


FIGURA 5.19.- DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL CONCRETO

No se utilizan aditivos en el presfuerzo, ya que contienen compuestos químicos que atacan al acero. Se usa super-fluidizante para hacer más manejable el concreto, logrando la separación de las partículas, así como un revenimiento de 10 a 12 cm, cuando sin fluidizante sería de 8 cm o menos.

### 5.5) TRANSPORTE A OBRA

En el momento que la pieza cumple con la resistencia al 80%, se extrae del molde por medio de dos grúas de 100 Ton de capacidad, que se mueven sobre unos rieles apoyados en marcos de acero y toman a la pieza por los ganchos de izar ahogados en ella desde el colado.

Las trabes, tanto centrales como de apoyo, se transportan en un trailer, apoyando la pieza sobre sus llantas por medio de una plataforma, y en la parte de atrás se apoya sobre un dolly (carrito de 3 ejes con 12 llantas para repartir la carga).

## ELEMENTOS PRESFORZADOS

Los dollies utilizados para el transporte a obra tienen dirección y tracción propia, ya que la longitud de las piezas es considerablemente grande, se dificulta su rotación al doblar las calles.

**CAPITULO 6 - ELEMENTOS DE CONEXION Y ACCESORIOS DE APOYO**

La unión entre traveses de apoyo y traveses centrales se hace a base de ménsulas. Estas tienen una longitud de 0.60 m, 1.69 m de ancho y una altura de 0.68 m. Son de concreto armado con 7 varillas del # 12 soldadas a dos ángulos de 20 x 15 x 78 x 19e cm y con una separación promedio de 0.12 m. Soldadas a los mismos ángulos se tienen 5 varillas del # 6 en forma de canal separadas 0.12 m, y unidas con 7 estribos del # 6 (Figuras 6.1, 6.1a y 6.2, 6.2a y 6.2b). Los ángulos antes mencionados quedan exactamente en los bordes de las ménsulas, no solamente con el fin de unir el acero, sino para evitar el desportillamiento del concreto en las zonas de unión.

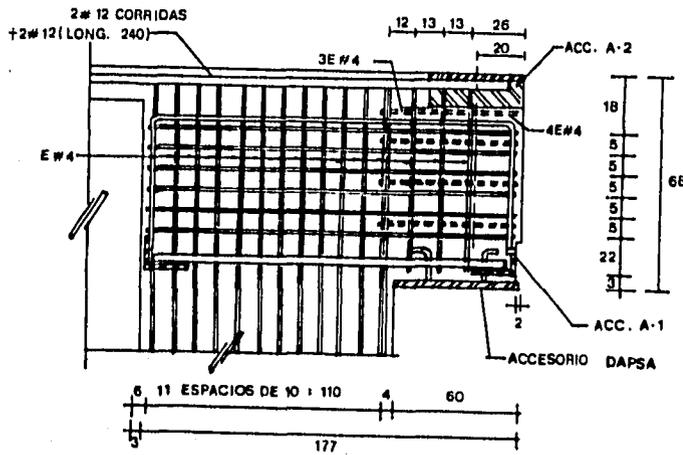
Todo este armado en conjunto tiene forma de caja. Adicionalmente se tienen en cada extremo de las traveses TA, dos pernos verticales con rosca, de 1" de diámetro de acero de alta resistencia ( $F_y = 10,500 \text{ kg/cm}^2$ ), que embonan en unos orificios ovalados localizados en las ménsulas de las traveses centrales, y ya colocadas, se les enrosca una tuerca, para evitar desplazamientos considerables. Los pernos miden en total 2.30 m de longitud, dejándose ahogado 0.50 m verticalmente y 1.00 m horizontalmente en forma de escuadra sirviendo de anclaje con el concreto (Fotografías 6.1 y 6.2).

El armado en la ménsula de las traveses centrales es invertido, es decir, el armado con varillas del # 12 se encuentra en la parte del apoyo, y en lugar de tener los pernos tiene los orificios ya mencionados. Esto se hace para unir las traveses de apoyo con las centrales, y estas queden fijas de alguna manera mientras se arma el firme estructural que se abordará con detalle en el siguiente capítulo.

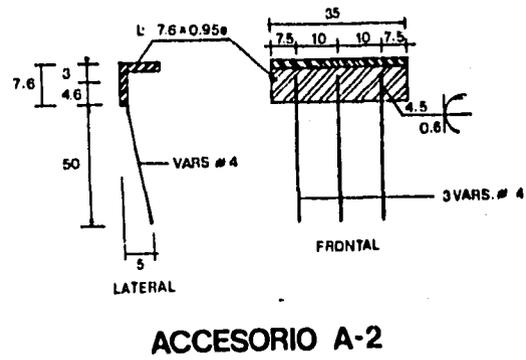
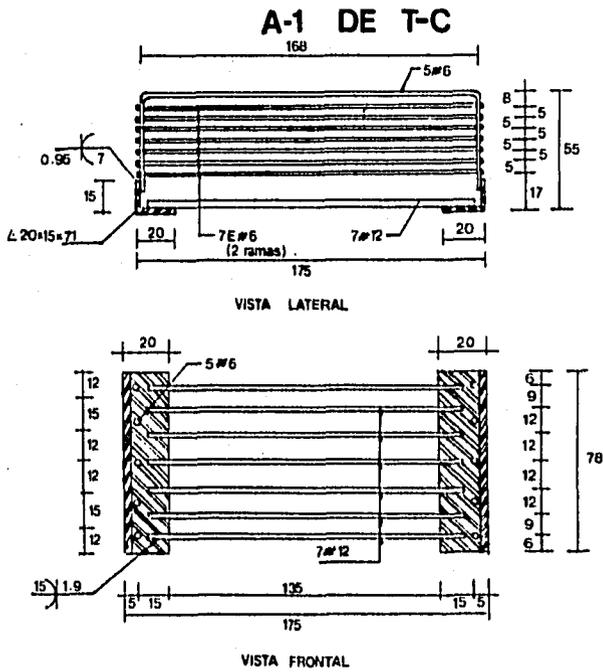
Además de las placas de acero ya mencionadas, y con el fin de evitar el contacto del concreto de las traveses de apoyo y centrales al momento de unirse, se colocaron en las ménsulas unos apoyos de neopreno, cuyas dimensiones dependen del tipo de apoyo de que se trate. En cada unión de traveses hay un apoyo, en un extremo es fijo y en el otro móvil. Por lo general, en el muro estribo de las rampas de acceso el apoyo es fijo, y a partir de ahí se alternan, uno fijo y uno móvil (Figura 4.1).

Cuando el apoyo es móvil, en la ménsula de la trabe de apoyo se hace un zoclo de nivelación de mortero sikagrout de 82.20 x 30.20 cm y 26 mm de espesor; sobre este zoclo se colocan dos apoyos de neopreno tipo sandwich deslizante de dureza Shore A-60, de 20 x 30 cm y 44 mm de espesor, con capacidad igual a 72.5 Ton. Dicho apoyo incluye el accesorio superior que se coloca en la ménsula de la trabe de central que permite el deslizamiento de las dos piezas. Debido a que se trata de una lámina de acero inoxidable con acabado espejo, este accesorio que se encuentra en la trabe central es el llamado accesorio DAPSA (Figuras 6.3, 6.3a, 6.3b, 6.3c y 6.3d).

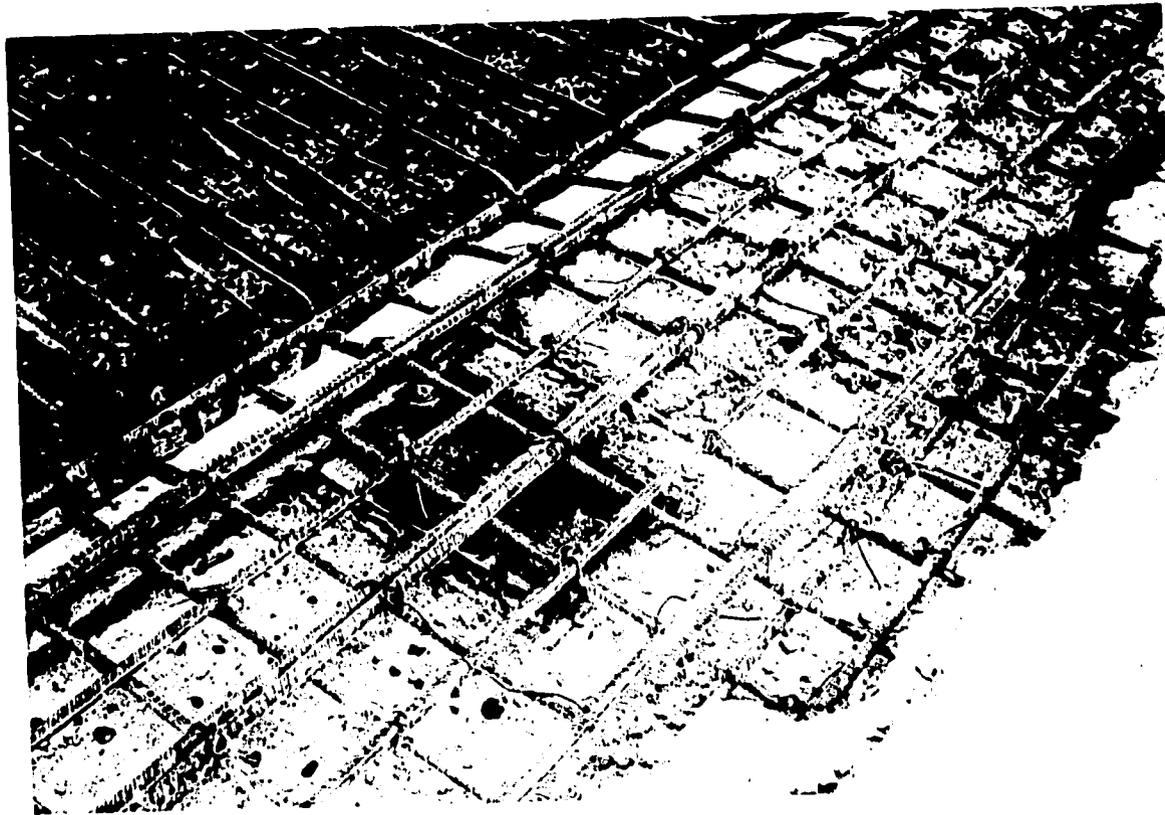




REFUERZO DE MENSULA T-C

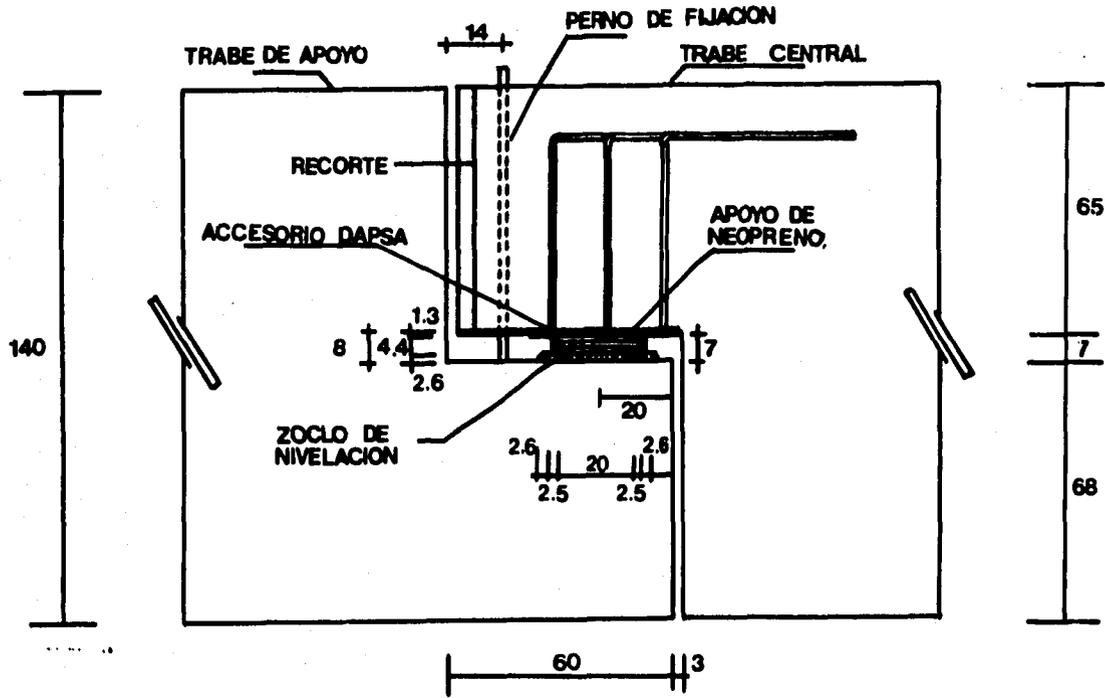


FIGURAS 6.2, 6.2A Y 6.2B.- REFUERZO DE MENSULA EN TRABE T-C



FOTOGRAFÍAS 6.1 Y 6.2.- UNIÓN DE TRABES





APOYO MOVIL

### ACCESORIO DAPSA

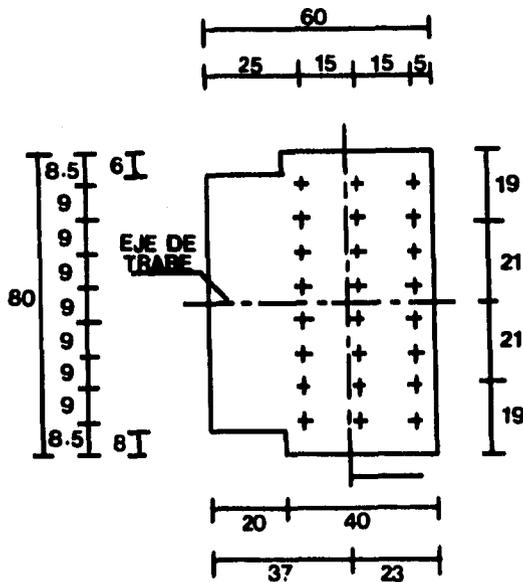


FIGURA 6.3c

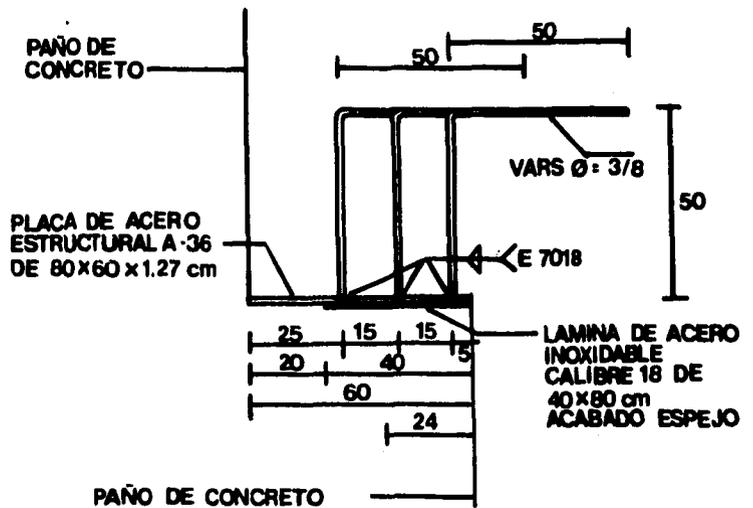


FIGURA 6.3d

FIGURAS 6.3B, 6.3C, 6.3D.- ACCESORIO DAPSA EN APOYO MÓVIL

ELEMENTOS DE CONEXION...

Si se trata de un apoyo fijo, en la ménsula de la trabe de apoyo se hace también un zoclo de mortero sikagrout pero de 42.60 x 32.60 cm y 13 mm de espesor; por encima de este sólo lleva un apoyo de neopreno tipo sandwich fijo de dureza Shore A-60 de 128 Ton de capacidad con dimensiones 25 x 35 cm y 57 mm de espesor. A diferencia del apoyo móvil, este no lleva el accesorio superior de la trabe central, por lo tanto la unión no permite el deslizamiento, las dos piezas se unen únicamente con el perno de la trabe de apoyo (Figuras 6.4, 6.4a y 6.4b).

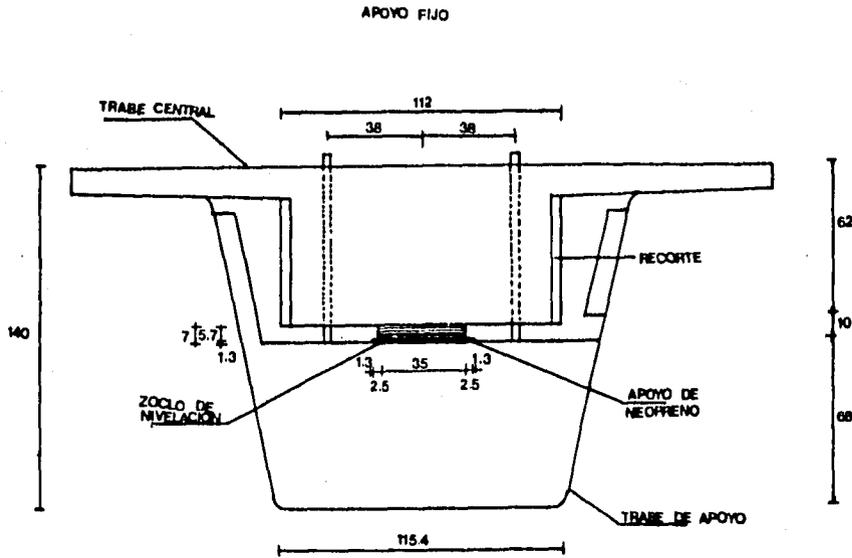


FIGURA 6.4

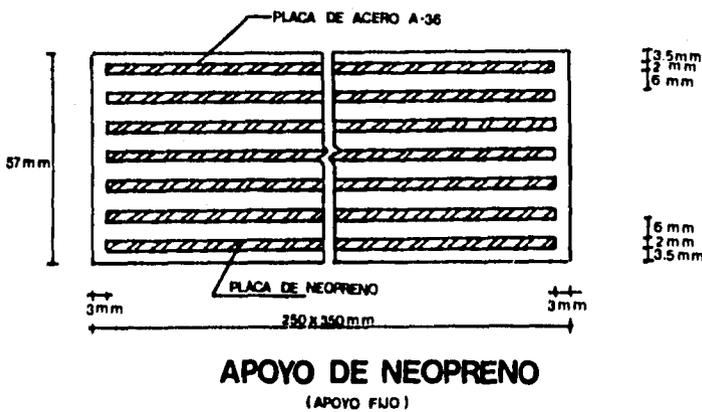


FIGURA 6.4a

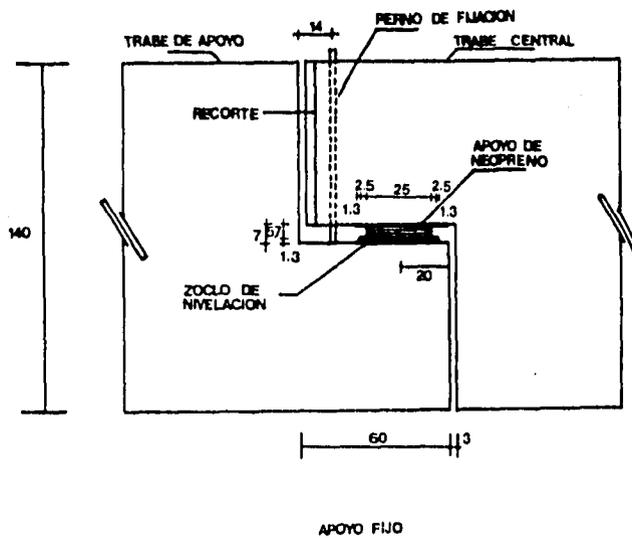


FIGURA 6.4b

FIGURAS 6.4, 6.4A Y 6.4B.- APOYO FIJO EN TRABES

La diferencia entre los apoyos fijos y móviles consiste en que en los apoyos fijos no hay deslizamientos, en cambio en los móviles las piezas pueden moverse en cualquier dirección de su plano y así disminuir los errores en la fabricación de las trabes. Con estos apoyos se logra tener una separación de 7 cm entre una pieza y otra.

Aparte de los accesorios ya mencionados en las paredes de las trabes están localizadas unas placas de acero, a las que van soldados los diafragmas metálicos (tubos de 4" de diámetro, cédula 40 soldados a las placas de los conectores sísmicos), que también sirven de unión entre las trabes. Estas placas de acero son los conectores sísmicos que se dejan ahogados desde la fabricación de las trabes, las placas son de 21 x 21 x 2.5e cm y tienen soldadas 4 varillas del # 5, que atraviesan a la trabe transversalmente (Figuras 6.5, 6.5a y 6.5b). La función de los conectores sísmicos unidos a los diafragmas metálicos es evitar que las trabes en un sismo se muevan libre e individualmente ocasionando el choque entre ellas y a su vez la falla de la estructura.

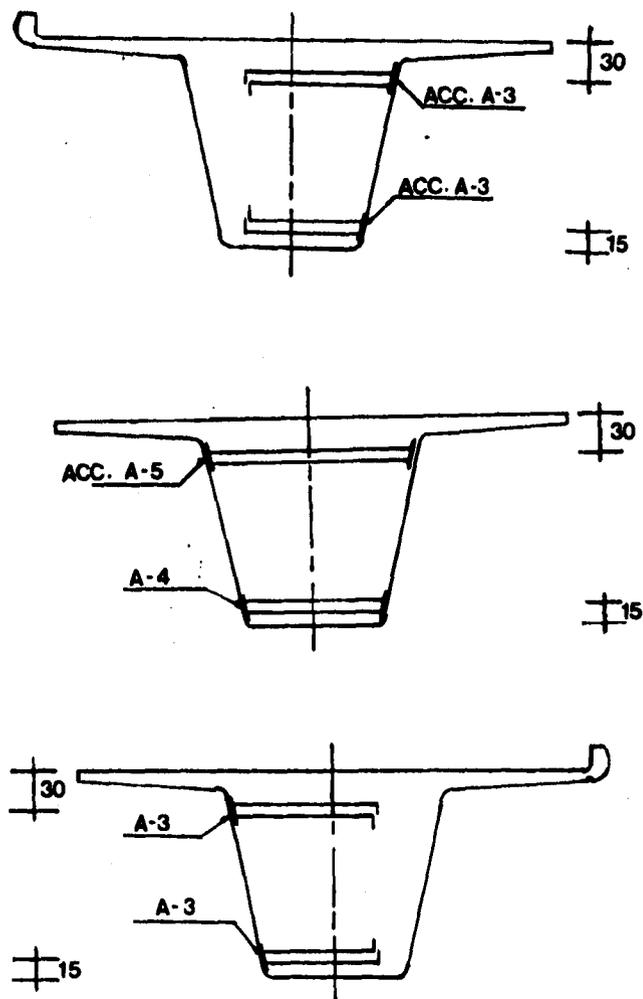
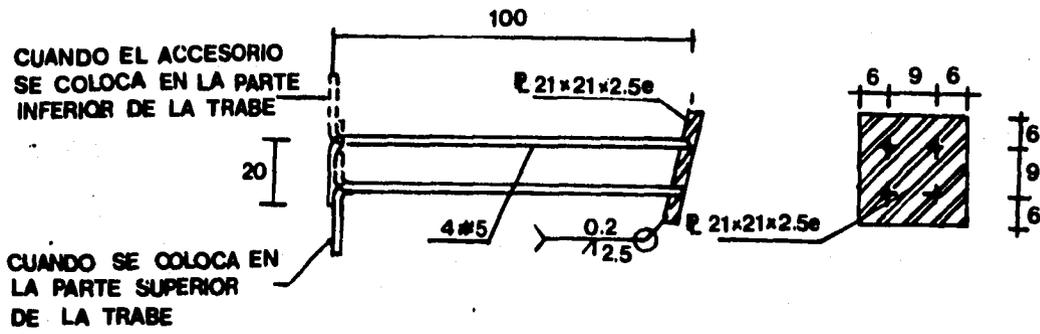
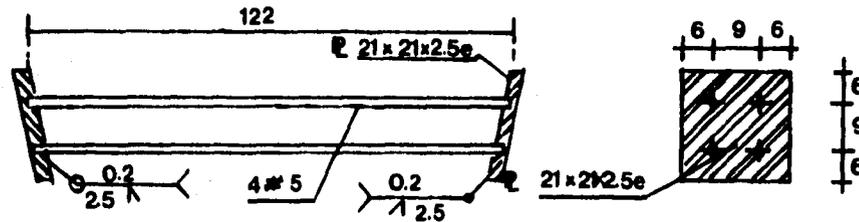


FIGURA 6.5.- CONECTORES SÍSMICOS

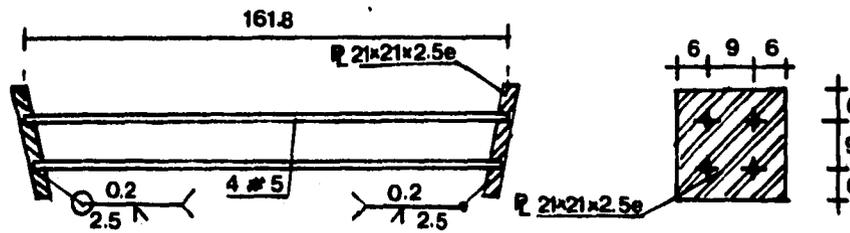
### ACCESORIOS



A-3



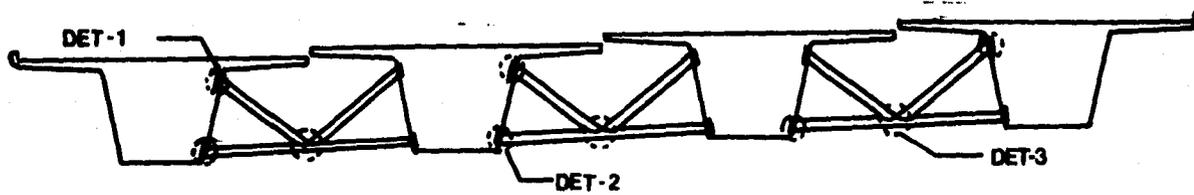
A-4



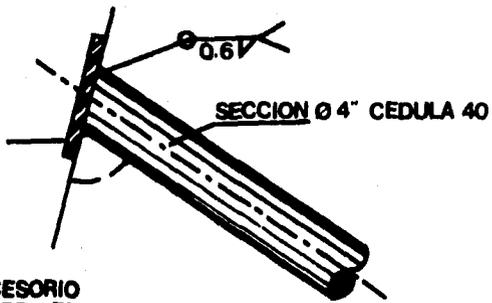
A-5

FIGURA 6.5A.- ACCESORIOS PARA CONECTORES SÍSMICOS

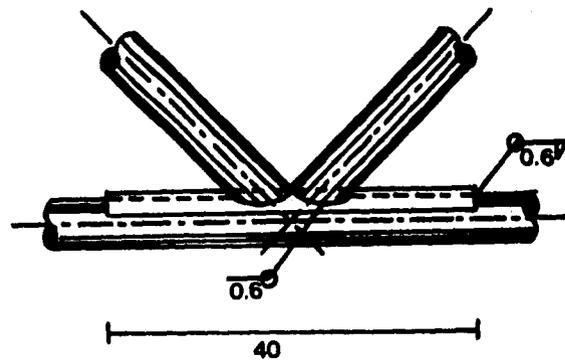
## DIAFRAGMA METALICO



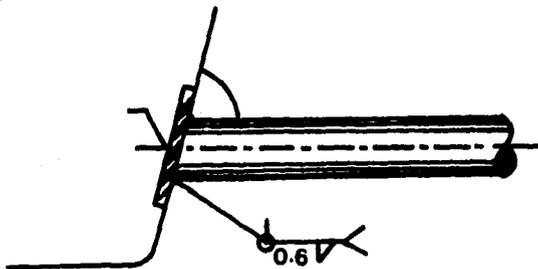
### DETALLE - 1



CA DEL ACCESORIO  
ALICO EN TRABES TA Y TC  
A FIJAR DIAFRAGMA



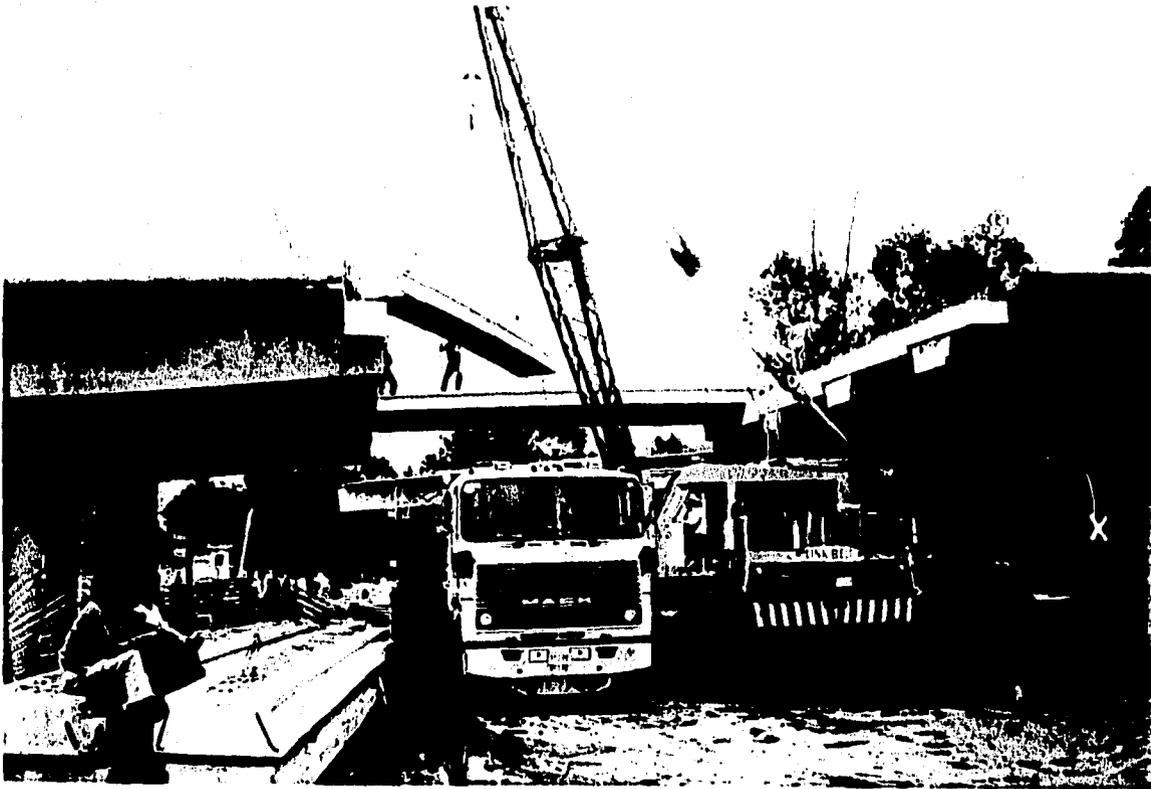
### DETALLE - 2



### DETALLE - 3

FIGURA 6.5B.- DIAFRAGMA METÁLICO

La unión de las tabletas con las traves, como ya se mencionó en el capítulo 5, se hace por medio de las traves portantes TP-1 y TP-2 (Fotografía 6.3), las que se unen a las traves de apoyo mediante unos pernos de 1" de 0.45 m incluidos en el armado de la ménsula de la pieza, y a los cuales se les enrosca una tuerca (Figura 5.11).



FOTOGRAFÍA 6.3.- MONTAJE DE TABLETAS

Las tabletas se asientan en las traves portantes con mortero de resistencia  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$  vaciado en su etapa de montaje. Ellas se unen entre sí por medio del armado del firme estructural, este armado se detallará en el Capítulo 7.

## CAPITULO 7 - MONTAJE Y NIVELACION DE TRABES

El montaje es una de las actividades claves para el éxito de un proyecto de elementos prefabricados. Sumas enormes de dinero pueden perderse por una instalación incorrecta. Por otro lado, el captar los problemas y soluciones en lo que se refiere a la unión de piezas prefabricadas en la obra, puede dar a los prefabricadores alta competitividad al ofrecer una rápida construcción. La organización de los pasos a seguir durante el procedimiento constructivo son producto de una buena planeación que a su vez asegura un montaje eficiente.

Los proyectistas generalmente toman decisiones respecto a las dimensiones y pesos de los elementos prefabricados desde el inicio del proyecto. Se toma como una base que el peso de los componentes debe estar limitado a 11 Ton cada uno, no importando si son elementos arquitectónicos o estructurales, a menos que se consulte directamente con personal especializado en montaje de prefabricados. Pesos mayores de hasta 22 Ton pueden manejarse si se dispone de buenos accesos adyacentes al sitio de montaje. Los proyectistas deberán tener cuidado de la importancia de tener accesos adecuados, especialmente en lugares donde existan conglomerados, y que el sitio de la obra se encuentre entre estructuras ya existentes.

Se requieren también tolerancias reales entre los elementos prefabricados y los demás elementos de la obra. Las tolerancias de construcción para elementos de soporte colados en sitio, o de acero estructural, deben añadirse a las de fabricación de los elementos elaborados en planta a fin de determinar los claros de las piezas prefabricadas y las dimensiones de las ménsulas, trabes, columnas, etc., que serán coladas en sitio.

Es muy importante que el estructurista defina desde el inicio del proyecto el tipo de conexiones y los accesorios que se deberán dejar preparados para sostener los elementos. Antes de empezar el montaje de los elementos prefabricados, se requiere una coordinación entre el fabricante y contratista general.

Primero, debe determinarse que los accesos alrededor y dentro de la obra sean adecuados y suficientes. Apoyándose en la secuencia del montaje, el encargado de este hace la relación de las piezas que se necesitan en obra, para que sean enviadas de la planta, según se vayan requiriendo, descontando los entre-ejes del puente que ya tienen las piezas colocadas. En la relación de piezas también se indicará la colocación individual en el trailer, para ahorrar tiempo por doble maniobra (descarga y acomodo).

### 7.1) TRABES DE APOYO

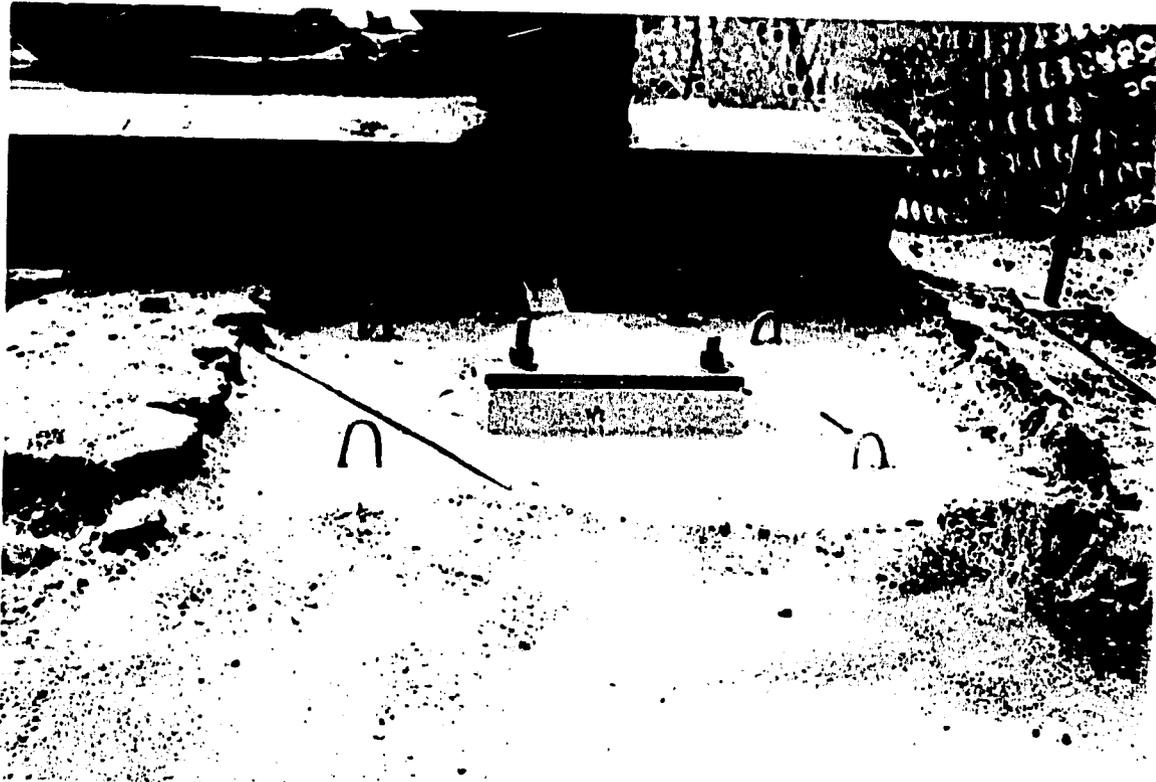
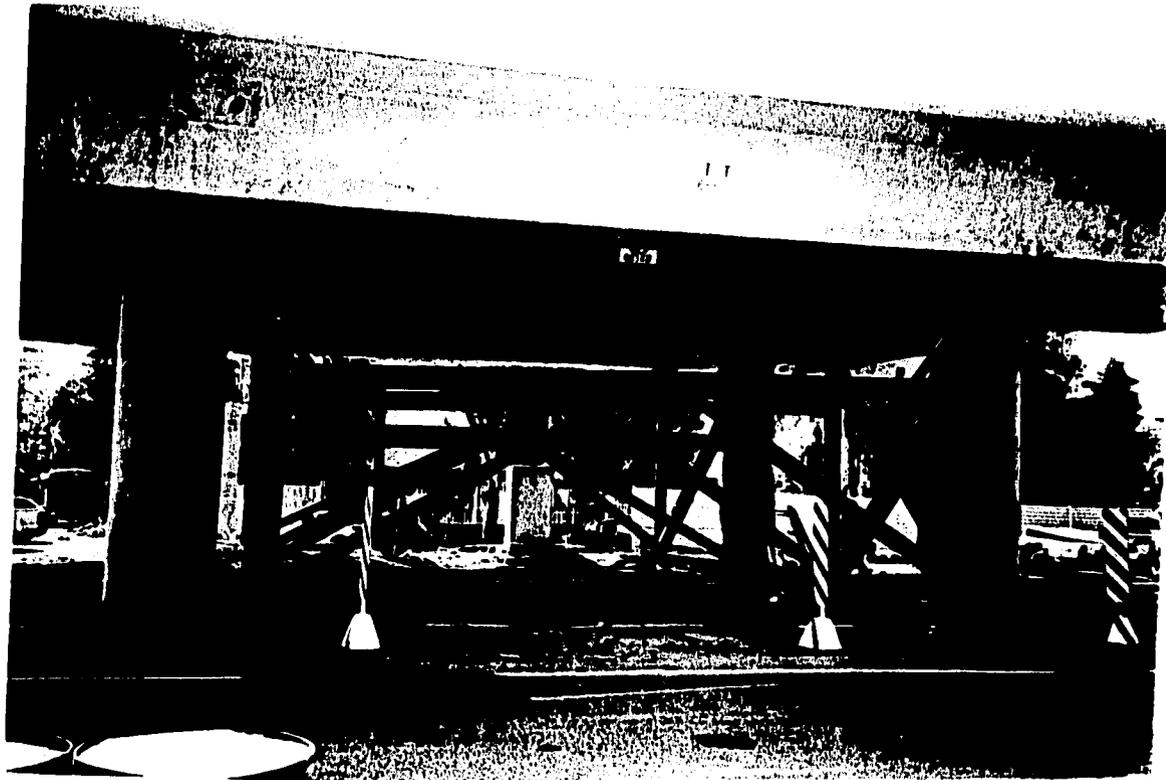
Las dimensiones de las traves de apoyo son variables, dependen del lugar donde estén localizadas. En cuanto a sus pesos también varían, entre 75 y 80 toneladas, dependiendo evidentemente de sus dimensiones.

Para el montaje de las traves de apoyo fue necesario elaborar un plan de apuntalamiento y refuerzo, también llamado *contraventeo* para elementos prefabricados que se incorporan a la estructura antes de liberarlos del equipo de montaje. Este plan lo elabora el fabricante a través de sus departamentos de Ingeniería Estructural y de Construcción, y se le proporciona al contratista general de la obra, al personal de montaje y al de supervisión, todo esto antes de empezar la colocación de las unidades.

En el caso del puente, se hizo un apuntalamiento metálico con tubos de acero de 10" de diámetro, soldados a una placa de acero para poder fijarlo y tener una estabilidad sobre el terreno. Este apuntalamiento depende de una cimentación, que en este caso fueron unas zapatas de concreto de 1.50 x 1.50 x 0.30 m sobre las cuales se colocaron las placas mencionadas, soportando en cada punto aproximadamente 50 Ton, y usando dos piezas por cada trabe (una en cada extremo). Se utilizaron estas zapatas para evitar el apoyarse directamente sobre el terreno, lo que ocasionaría hundimientos considerables (Fotografías 7.1, 7.2 y 7.3).



FOTOGRAFÍA 7.1.- APUNTALAMIENTO METÁLICO



FOTOGRAFÍAS 7.2 Y 7.3.- APUNTALAMIENTO METÁLICO Y ZAPATA DEL APUNTALAMIENTO

## MONTAJE Y NIVELACION...

El apuntalamiento es propiamente un marco rígido hecho con traveses metálicas que se sueldan de tubo a tubo, y cuyo objetivo es soportar las traveses de apoyo mientras se arma y se cuele el diafragma que rigidiza la estructura formado por las columnas y las traveses de apoyo (esto se detalla en el inciso 7.4). Cabe mencionar que las traveses, cuando no están apoyadas en un cabezal prefabricado, no se apoyan sobre las columnas, sino que se sostienen mediante el POSTENSADO (inciso 7.4).

La colocación del apuntalamiento metálico se lleva aproximadamente 3 días, y queda a una distancia de 2 m de la columna. El tiempo para el montaje de las traveses, desde que se llega con la pieza hasta que se monta, es de aproximadamente una hora y media por pieza, si es que no hubo algún percance como el ajustar una pieza a las dimensiones requeridas, o retraso en el traslado de las piezas. En este caso, por lo regular se montaron 4 piezas en el período de 11 P.M. a 5 A.M. del día siguiente, escogiéndose este horario para poder suspender el tránsito vehicular en algunos tramos de la Avenida Palmas.

Para realizar un montaje es necesario preverlo con una semana de anticipación. Se define el acceso para revisar si no interfieren postes, árboles, si la terracería se encuentra en buenas condiciones, etc., así como revisar requerimientos tales como personal para la desviación del tránsito, personal para delimitar la zona peatonal, la zona donde entran las máquinas, etc. Este personal lo proporcionó el Departamento de Obra Civil.

Se utilizaron dos grúas para izar las traveses; estas grúas por lo general se colocan de frente, de tal manera que tuvieran la capacidad total para poder montar una pieza, sin embargo, si no se tiene un área demasiado amplia para ubicarlas, es preciso montarlas de lado, lo cual reduce su capacidad en un 40 %.

Para la colocación de las traveses se requerían dos grúas de 90 toneladas, pero se reducía en gran medida el área de apoyo, es decir, se tenía únicamente un radio de 6 a 7 m para maniobrar con las piezas. Sin embargo, se utilizaron dos grúas de 140 Ton que tomaban de cada extremo a la traves, logrando un radio de giro de 11 m, lo que facilitó la maniobra y proporcionó entre 80 y 90 % de seguridad. El ángulo de inclinación de la pluma en éste caso, no podía exceder de 78 grados, so pena de salirse del radio de giro y provocar un accidente de graves consecuencias.

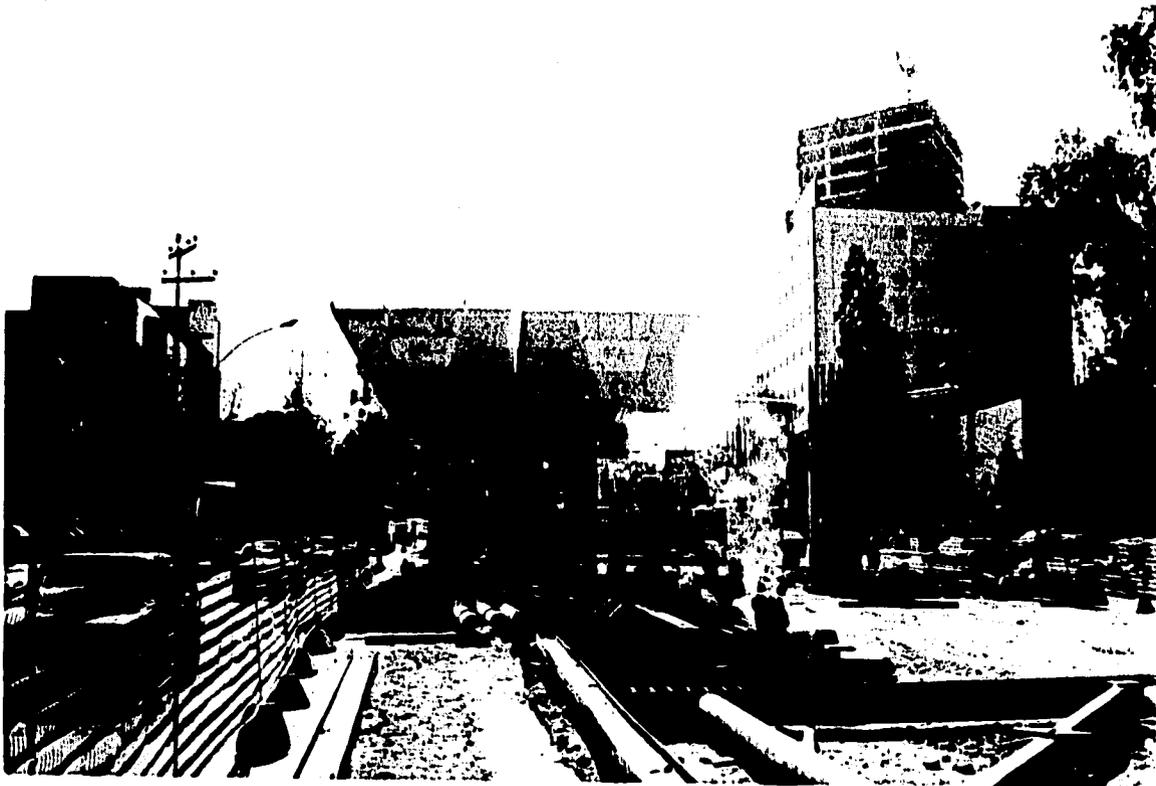
Un factor muy importante en un montaje exitoso es la nivelación de los elementos prefabricados, ya que con ella se verifican los ejes de las columnas y las alturas que deben tener las traveses por montar. Cuando se hace el apuntalamiento, se procede a hacer la nivelación metiendo unos "tacones" de ajuste; en el marco de acero en el cual se apoyan las T-A se ponen los tacones a la altura a la que debe

estar la trabe. En algunas ocasiones ocurrieron asentamientos a pesar de la zapata, y tuvo que hacerse una renivelación de la pieza calzando los tacones, introduciendo placas o cuñas de triplay para levantar y volver a nivelar (Fotografía 7.4).



FOTOGRAFÍA 7.4.- RENIVELACIÓN DE ELEMENTOS

Las traves de apoyo ubicadas en las orillas del puente se fabricaron con dos cortes rectangulares en el alerón y las traves de apoyo colocadas al centro del claro se fabricaron con cuatro cortes (dos de cada lado), con la finalidad de formar un cuadrado al unir la traves de apoyo, en el cual entraron las varillas de las columnas para hacer el armado de unión entre traves formando los diafragmas (Fotografías 7.5 y 7.6).



FOTOGRAFÍAS 7.5 Y 7.6.- ALERONES EN TRABES

## 7.2) TRABE CENTRAL

Al igual que el de las traves de apoyo, el montaje de las cuatro traves centrales se hizo en el horario de 11 P.M. a 5 A.M. del día siguiente utilizando las dos grúas de 140 Ton de capacidad cada una.

Las dimensiones de las traves centrales también varían en cada tramo, y sus pesos están comprendidos entre las 65 y 70 Ton.

El montaje de estas traves dependió del colado y cuando se llegara al 80 % de la resistencia los diafragmas de la trave de apoyo; también se requirió que tuvieran los zoclos que sirven de nivelación para poder apoyar los neoprenos y sobre ellos las traves centrales (Figuras 6.3 y 6.4).

El montaje de las tabletas fue muy sencillo, no hubo necesidad de cerrar vialidades y se hizo en el día, sólo dependieron de la colocación de las traves portantes (Fotografía 6.3).

Una vez montadas las traves de apoyo, se tomaron medidas de los claros entre ellas para mandarlas a planta y revisar que la trave central tuviera una longitud menor a la del claro existente, de lo contrario no cabría la pieza. La holgura normal entre trave y trave es de 4.00 cm. Cuando una pieza se coloca mal o está desfasada una columna, la trave central es mayor o menor que el claro, (dependiendo hacia donde esté desfasada la columna), si es mayor que el claro se hace un recorte de 2 a 3 cm que se tarda unas 3 o 4 horas incluyendo el resane, lo cual puede hacerse en obra, pero por lo general se hace en la planta para que la pieza no se vea "parchada". Cuando la trave es menor que el claro no se tienen problemas, siempre y cuando en el claro se tenga un apoyo de 50 cm mínimo, aunque queden 8 cm de holgura de cada lado.

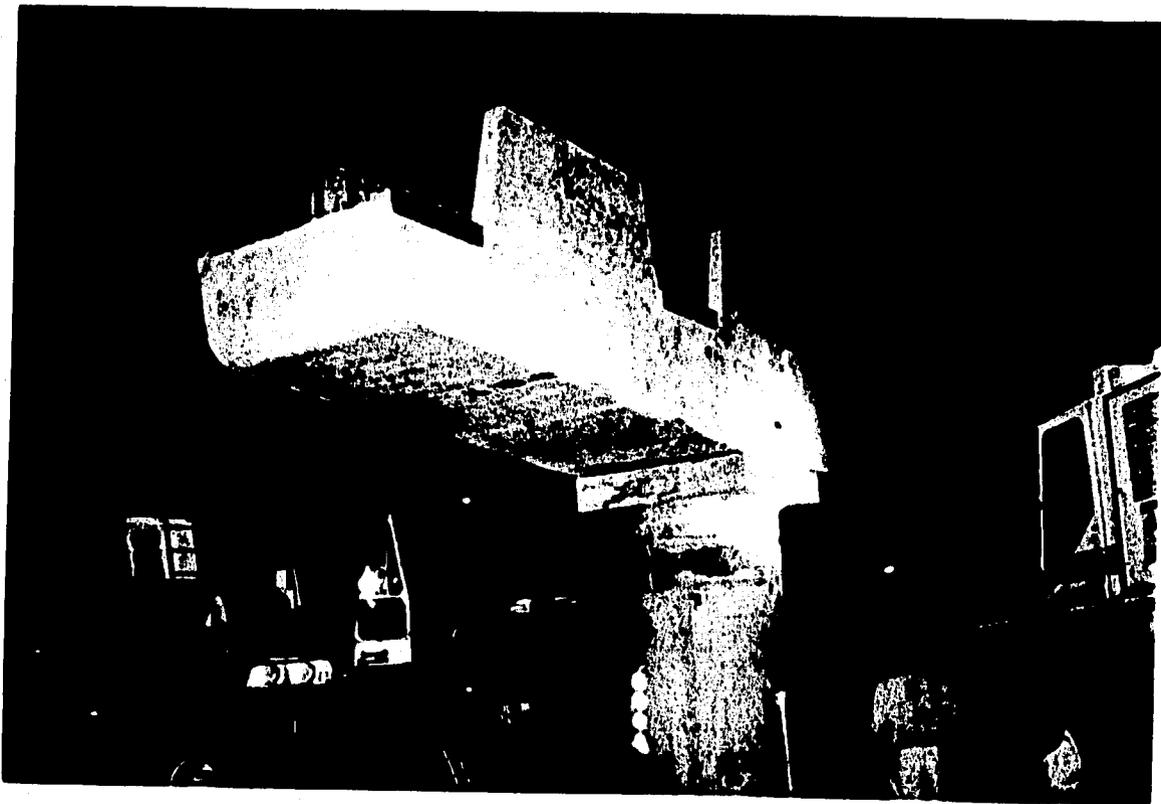
Tanto las traves centrales como las de apoyo, tuvieron 4 ganchos de izado, a una distancia de 5.00m de cada extremo, de acero liso de 1.5" de diámetro y de resistencia  $f_y = 3,515 \text{ kg/cm}^2$ .

## 7.3) UNION DE TRABES

En el paso a desnivel se encuentran unos elementos de concreto llamados cabezales o diafragmas, indispensables para el montaje y unión de todas las traves, y así como de columnas con traves. La finalidad de éstos diafragmas es formar un marco rígido entre las traves y las columnas, y evitar así el desplazamiento individual. Hay dos tipos de cabezales en el puente: prefabricados y colados en sitio.

A lo largo del puente principal hay cuatro cabezales prefabricados, cuya finalidad es reducir el área de apoyo, es decir, el área de las columnas. Por lo general se utiliza una columna para apoyar una trave,

pero al no tener espacio suficiente para desplantar cuatro columnas, el único elemento que sustituye a esas columnas es un cabezal prefabricado, apoyado en una columna, evidentemente más robusta que las utilizadas sin el cabezal, y que a su vez soporta 4 trabes (Fotografía 7.7).



FOTOGRAFÍA 7.7.- CABEZAL PREFABRICADO

Cada cabezal tiene una longitud de 13.55 m, un ancho de 2.15 m y un peralte de 2.57 m, y está armado longitudinalmente por 12 varillas del # 10, seis en cada extremo superior. Entre éstos dos extremos se tienen seis varillas del # 10 también colocadas longitudinalmente; y en cada extremo inferior, dos varillas del # 8 y dos del # 10; entre éstas existen longitudinalmente cinco varillas del # 4. El armado con varilla ligera se compone de varilla del # 4 colocada longitudinalmente a cada 20 cm y como estribos envolviendo el armado longitudinal (Figura 7.1).

En la Figura 7.1 se aprecia que los cabezales tienen cuatro apoyos en donde descansan las trabes, los ejes de las cajas de los extremos están a una distancia de 5.75 m de los mismos; a partir de estos ejes hay 4.13 m de distancia de eje a eje de las otras dos cajas (Figura 7.2). En los dos extremos de cada uno de estos apoyos se tienen placas de acero ahogadas en el concreto para evitar el desportillamiento del cabezal a la hora de montar las trabes; dichas placas tienen 1.15 m de largo, 20 cm de ancho y 1.90 cm de espesor.

## MONTAJE Y NIVELACION...

Visto en planta, en el área del cabezal donde van apoyadas las traveses, se tienen 24 varillas del # 10 colocadas verticalmente, con una longitud aproximada de 2.00 m incluyendo el anclaje, amarradas a unos estribos interiores y exteriores hechos con varilla del # 4 a cada 20 cm y cada 10 cm respectivamente (Figura 7.3).

La colocación de los cabezales se hizo en dos etapas: La primera consiste en montar el cabezal sobre la columna y colar una parte de las columnas, 1.25 m. Las varillas verticales tienen sus estribos helicoidales con varilla del # 4 y separación de 15 cm. La segunda etapa comprende el colado de la parte restante de la columna, (1.40 m). Posteriormente, cuando las piezas alcanzaron ya el 80% de su resistencia, se montan las traveses de apoyo correspondientes (Figuras 7.4 y 7.5).

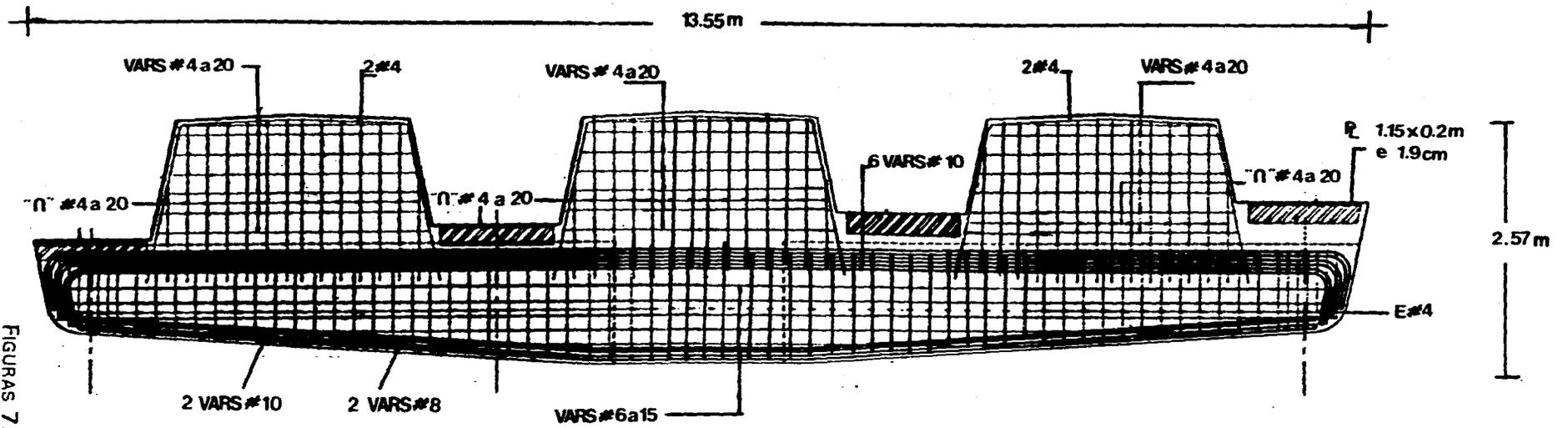
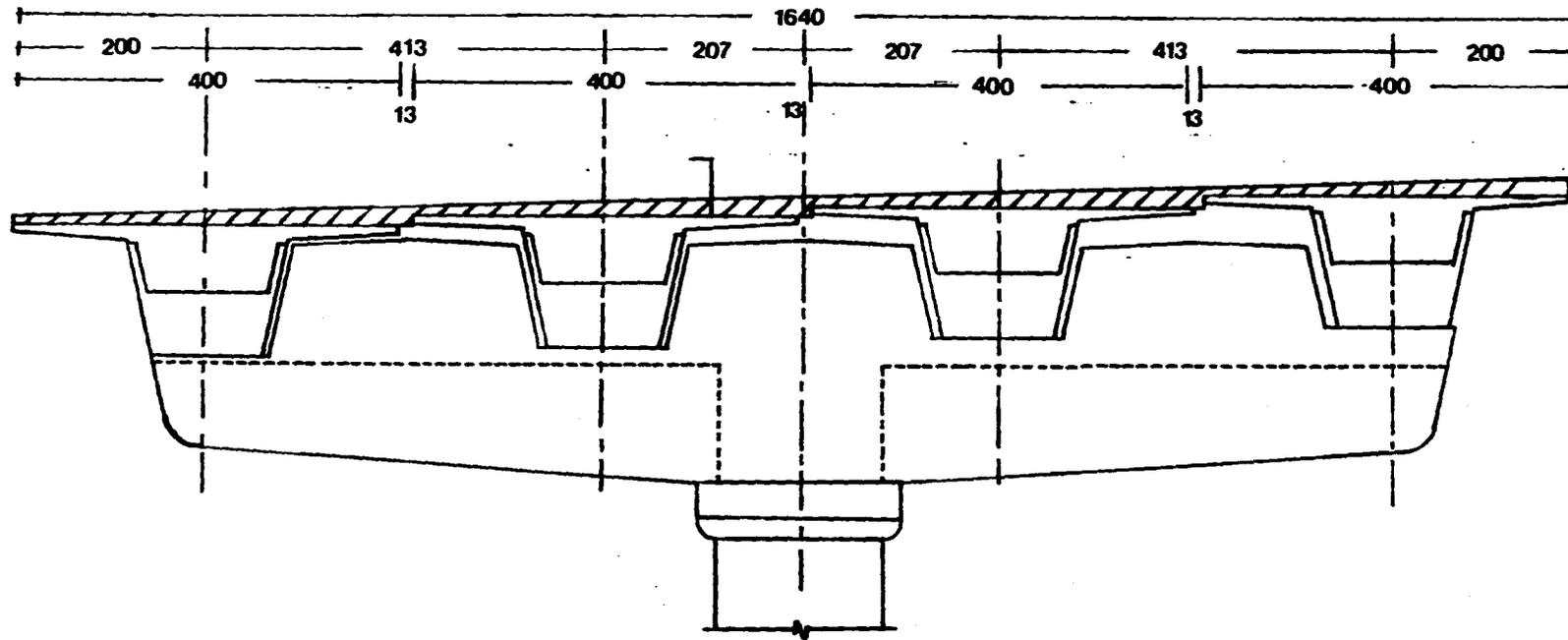
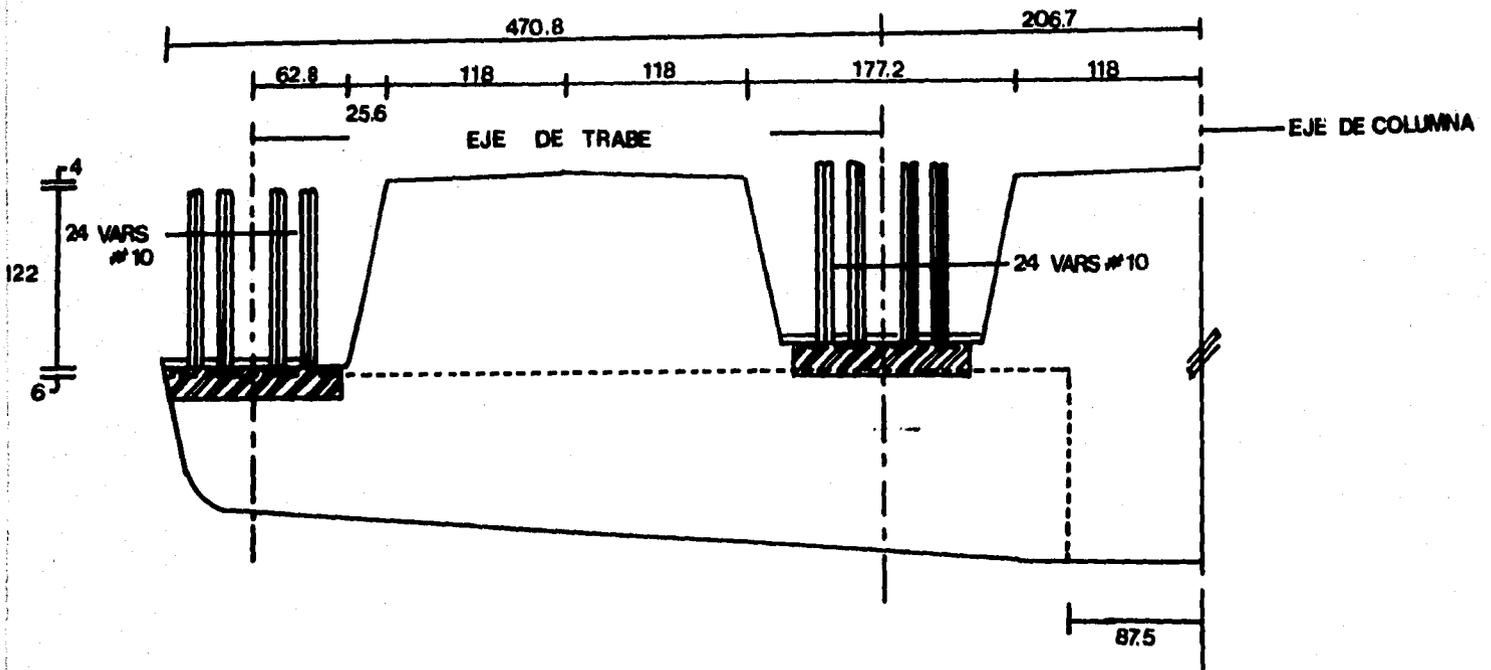


FIGURA 7.2

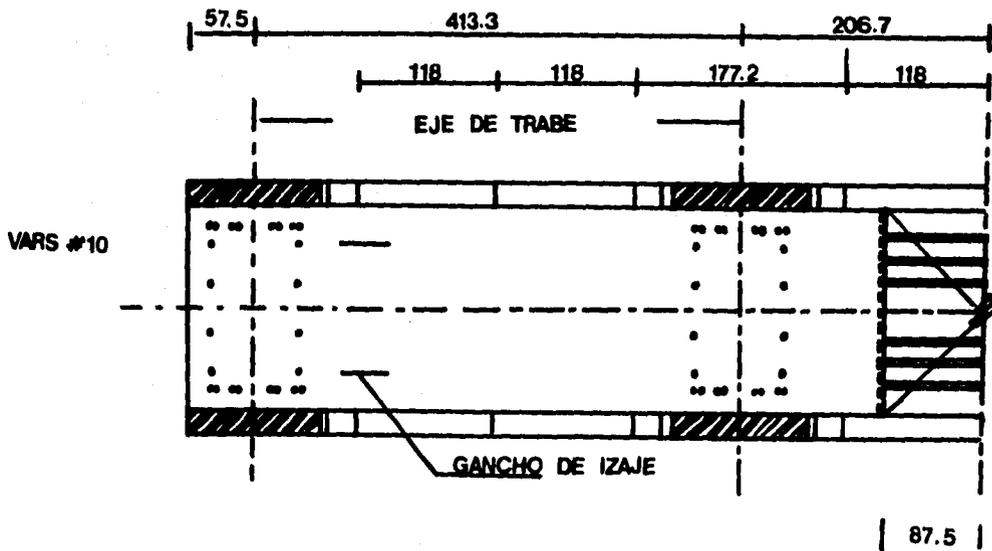


MONTAJE Y NIVELACION...

FIGURAS 7.1 y 7.2. CABEZAL PREFABRICADO



VISTA FRONTAL



PLANTA

FIGURA 7.3.- AREA DE APOYO DE TRABES T-A

# 1A. ETAPA

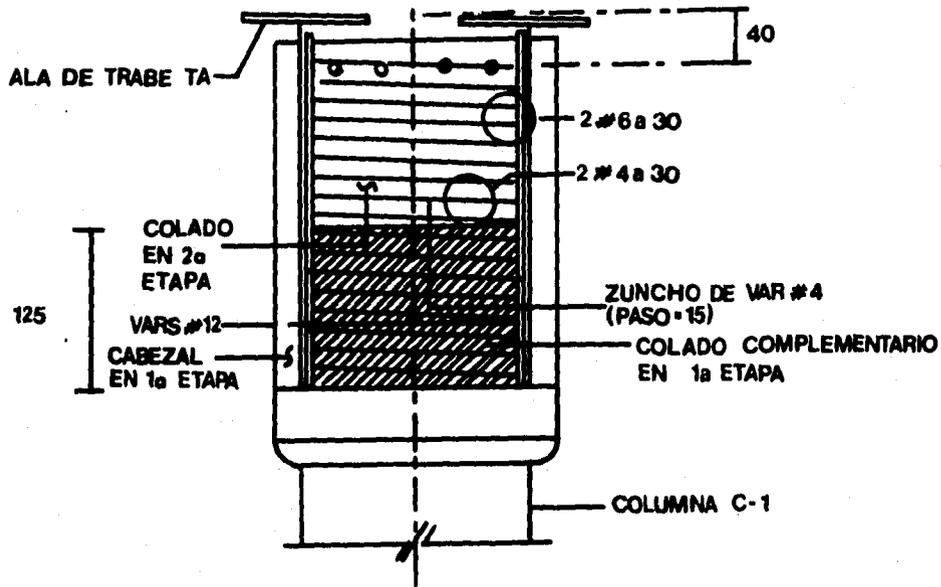


FIGURA 7.4

# 2A. ETAPA

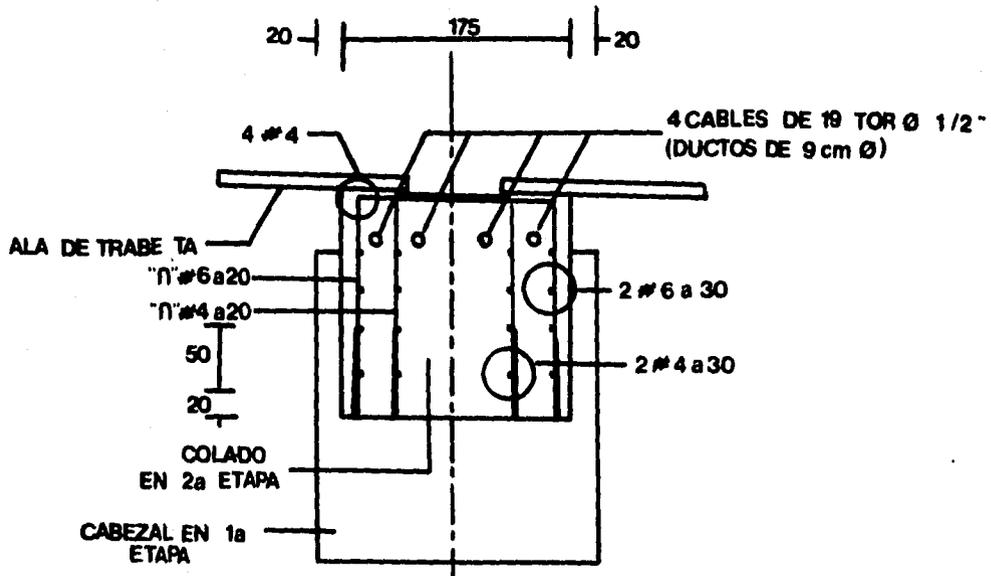


FIGURA 7.5

FIGURAS 7.4 Y 7.5.- ETAPAS DE COLADO DE LOS CABEZALES

## MONTAJE Y NIVELACION...

Son diez los cabezales colados en sitio a lo largo del puente principal, que se hicieron cuando las traveses de apoyo estaban apuntaladas y se había soldado una varilla del # 12 uniendo las traveses de la parte inferior y superior (Fotografía 7.8). Se colocó el acero de refuerzo, armado longitudinalmente con varilla del # 6 a cada 15 cm en la parte central del cabezal, alrededor de la sección longitudinalmente armada con varilla del # 12 y estribos del # 4 a cada 12 cm. A las varillas de las columnas se les colocó un accesorio que consiste en placas de 1.90 cm de espesor con la finalidad de mantener el acero principal en su posición y lo más importante proporcionar el anclaje necesario con el concreto, estos accesorios sustituyen los 40 diámetros que debería tener. Se hicieron preparaciones para posteriormente hacer el postensado (Figuras 7.6, 7.6a y Fotografía 7.9). Alcanzada la resistencia de proyecto, se pusieron 19 cables o torones en cada uno de los ductos para efectuar el postensado.



FOTOGRAFÍA 7.8.- CABEZAL COLADO EN SITIO

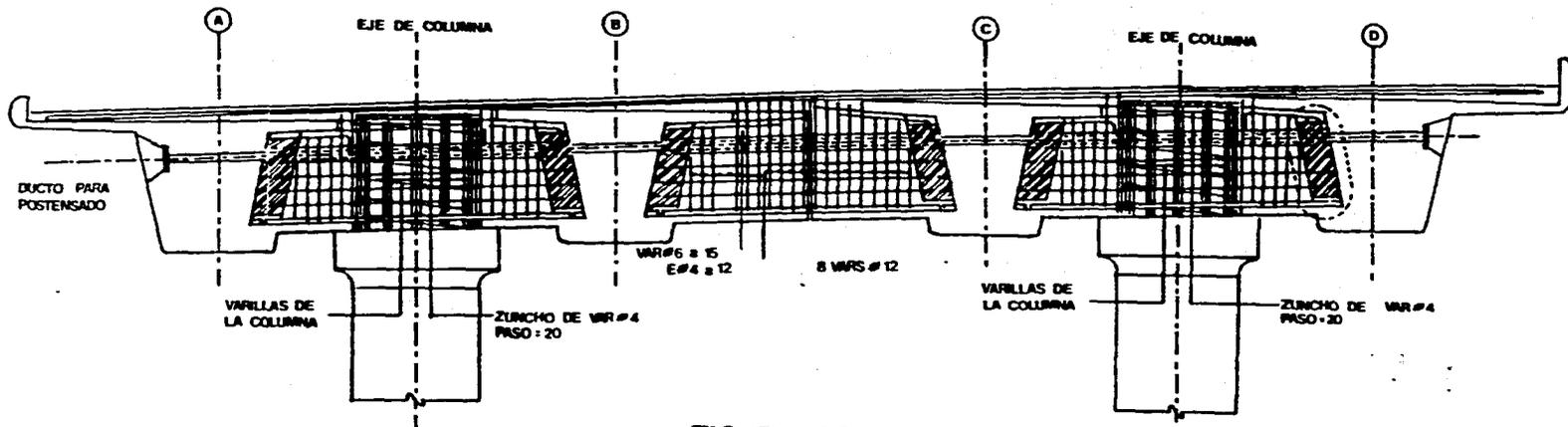


FIGURA 7.6

ACCESORIO A-1

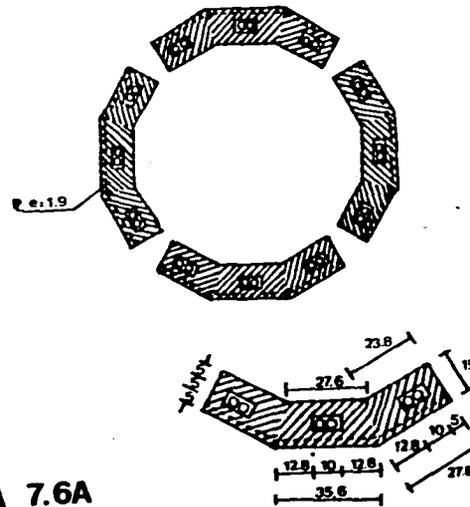
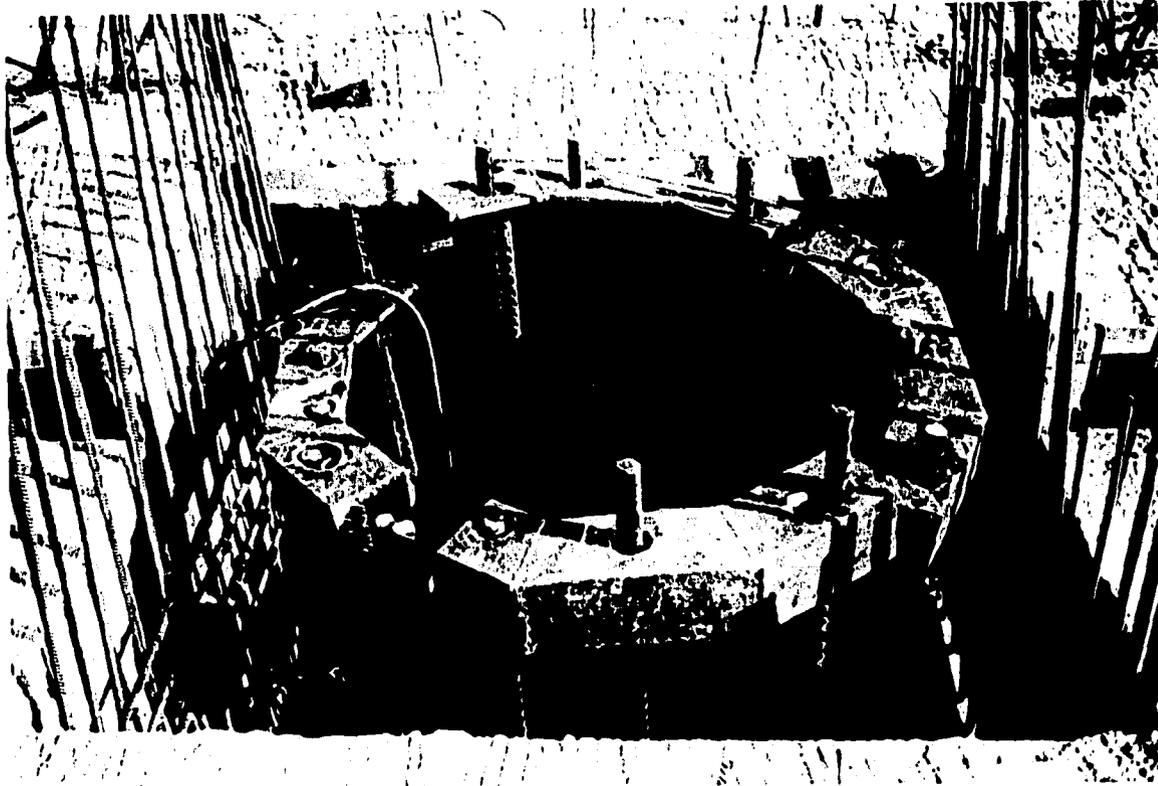


FIGURA 7.6A

FIGURAS 7.6 Y 7.6A.- ARMADO DE CABEZALES COLADOS EN SITIO



FOTOGRAFÍA 7.9.- ACCESORIO DE COLUMNAS

Desde la fabricación de las traveses de apoyo y centrales se pusieron unos conectores sísmicos, que atraviesan las piezas transversalmente por medio de 4 varillas del # 5 soldadas a unas placas de acero en los extremos, esas placas son de 21 x 21 x 25e cm en los extremos, cada trabe tiene 6 conectores, a los cuales se les soldaron tubos de 4" de diámetro cédula 40, con el fin de evitar desplazamientos individuales que ocasionen choque de piezas. Estos se llaman *diafragmas metálicos* y se ponen cuando las traveses ya están montadas. (Ver Figuras 6.5, 6.5a y 6.5b).

En la zona maciza de las traveses de apoyo, se encuentran ahogados unos pernos de 1" de diámetro de acero alta resistencia  $f_y = 10,500 \text{ kg/cm}^2$ , que sirven de unión con la trabe central, la cual cuenta con una placa ahuecada en forma de óvalo donde entra para permitir un poco de juego, y donde se fija el perno con una tuerca (Ver Capítulo 6).

#### 7.4) PRESFUERZO EN APOYO DE TRABES

Como ya se ha comentado, presforzar un elemento estructural consiste en crear en él esfuerzos tales que al combinarse con los correspondientes a las cargas exteriores anulen los esfuerzos permisibles de los materiales empleados, mediante algún procedimiento, antes o al mismo tiempo que la aplicación de las acciones exteriores.

MONTAJE Y NIVELACION...

Dentro del presfuerzo se encuentra el llamado *postensado*, en el que se hace el colado del elemento, dejando preparaciones, consistentes en vainas o *ductos de postensado*, y dentro de los cuáles se introducen los cables de presfuerzo (Figuras 7.7, y 7.7a), formados usualmente por grupos de torones a los que se les denomina también "tendones". Estos tendones se jalan después de que el concreto ha alcanzado la suficiente resistencia para asimilar la fuerza impuesta por el tensado. El postensado se realiza generalmente a pie de obra.

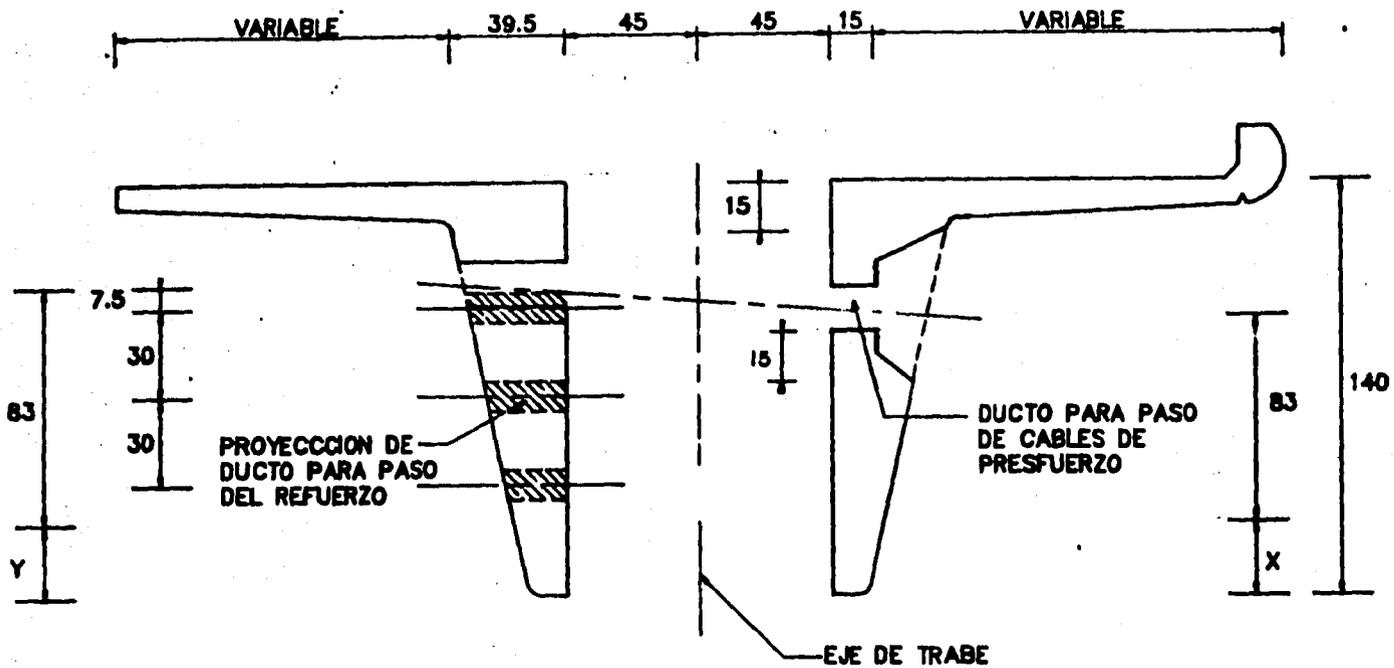


FIGURA 7.7

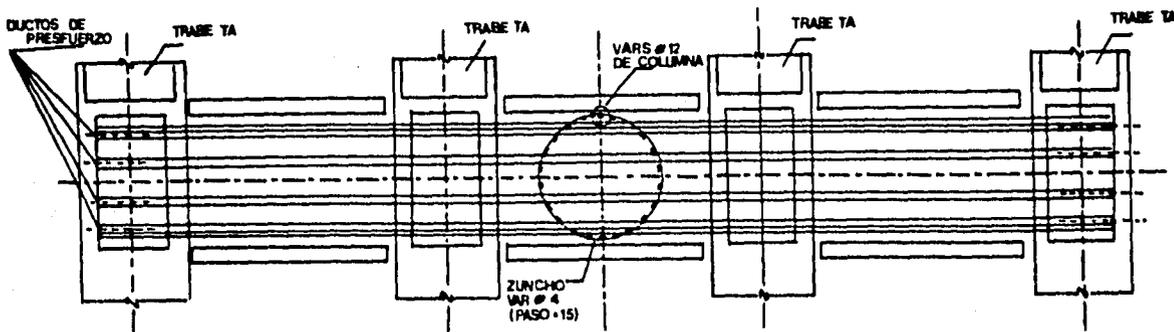


FIGURA 7.7A

FIGURAS 7.7 Y 7.7A.- DUCTOS PARA EL POSTENSADO

## MONTAJE Y NIVELACION...

Ya montadas las traveses se procede a hacer el postensado de los elementos. Primero se colocan los 4 ductos de 9 cm de diámetro en cada eje de columna, cada ducto mide 2.60 m de longitud, por lo tanto, se usaron 4 tubos por ducto transversal. En cada ducto se pusieron 19 torones, colocando en los extremos las *calaveras* (guías para evitar que los cables se muevan durante el tensado, mencionadas en el capítulo 4), para separar los cables y realizar el tensado mediante un gato de tensado y una bomba de alta compresión de 435 bares de capacidad, los cuatro paquetes de 19 torones trabajan a 800 Ton de tensión. Ya realizado el tensado se colocan unas cuñas para sostener el cable y evitar que regrese a su forma original, posteriormente se corta el sobrante, se sella cada ducto con un capuchón y por último se inyecta una lechada para evitar que se oxiden los cables. Este postensado rigidiza a todas las traveses (Fotografías 7.10, 7.11 y 7.12).



FOTOGRAFÍA 7.10.- DUCTOS PARA EL POSTENSADO

MONTAJE Y NIVELACION...



FOTOGRAFÍAS 7.11 Y 7.12.- TRABAJOS DEL POSTENSADO

### 7.5) FIRME ESTRUCTURAL

El firme estructural (también llamado *firme de compresión*) tiene como función la unión de las traveses prefabricadas, tabletas y rampas de acceso.

El firme estructural está compuesto por una capa de concreto de resistencia  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  de 10 cm de espesor, armado con acero de refuerzo de resistencia  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , longitudinalmente con varillas del número 4 y transversalmente con varilla del número 3, ambas con una separación de 10 cm (Figura 7.8).

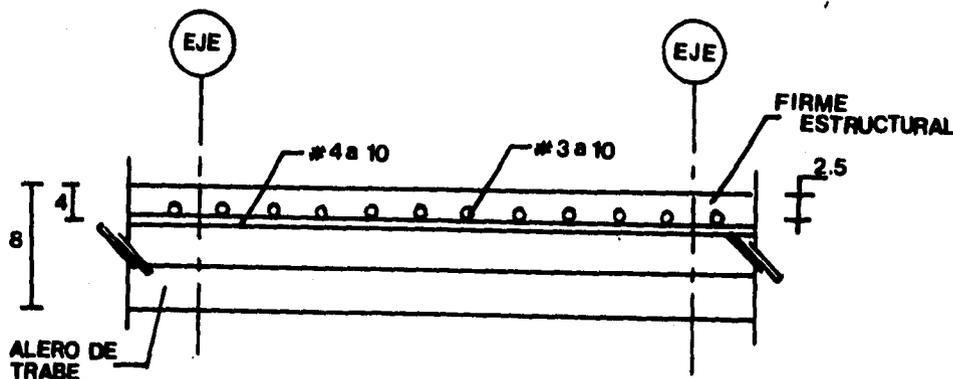


FIGURA 7.8.- ARMADO DEL FIRME DE COMPRESIÓN

En la unión de las traveses donde existe apoyo móvil se colocaron dos ángulos de 5.08 x 0.6 cm de 1.05 m de longitud, a uno de ellos se le soldó una placa de 10 x 0.6 cm y 2.00 m de longitud que quedó como tapajunta (Figuras 7.9, 7.9a y 7.9b). Estas preparaciones se ahogan en el firme de compresión; la finalidad de los ángulos es la de admitir las expansiones y contracciones del concreto del firme estructural debido a los cambios de temperatura. En donde existe apoyo fijo, se enrosca al perno que une a las traveses de apoyo y centrales, una tuerca que impide el movimiento entre ellas y se cuela el firme de compresión (Figura 7.10).

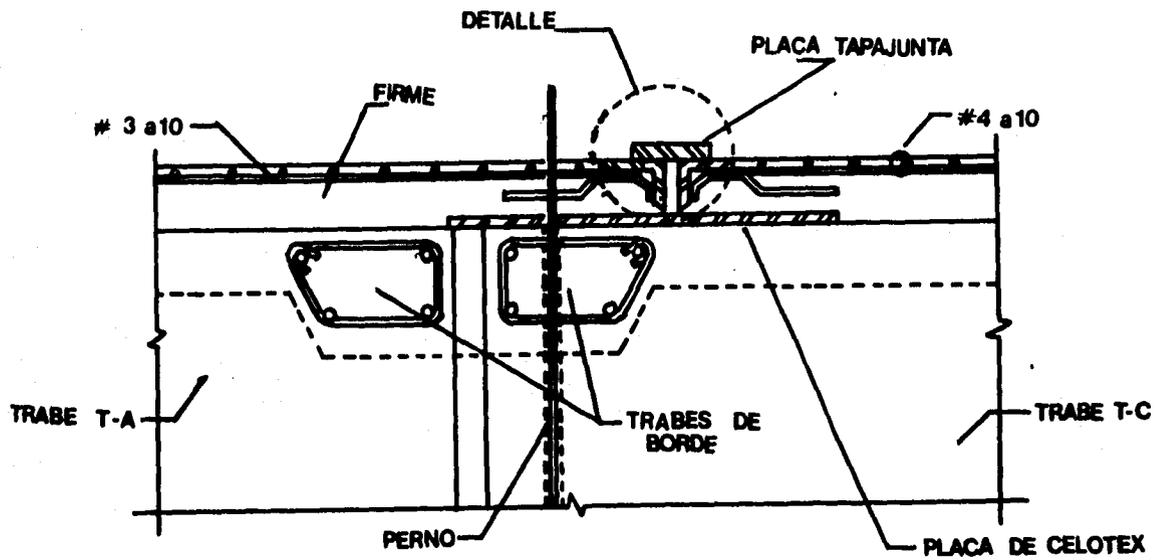


FIGURA 7.9

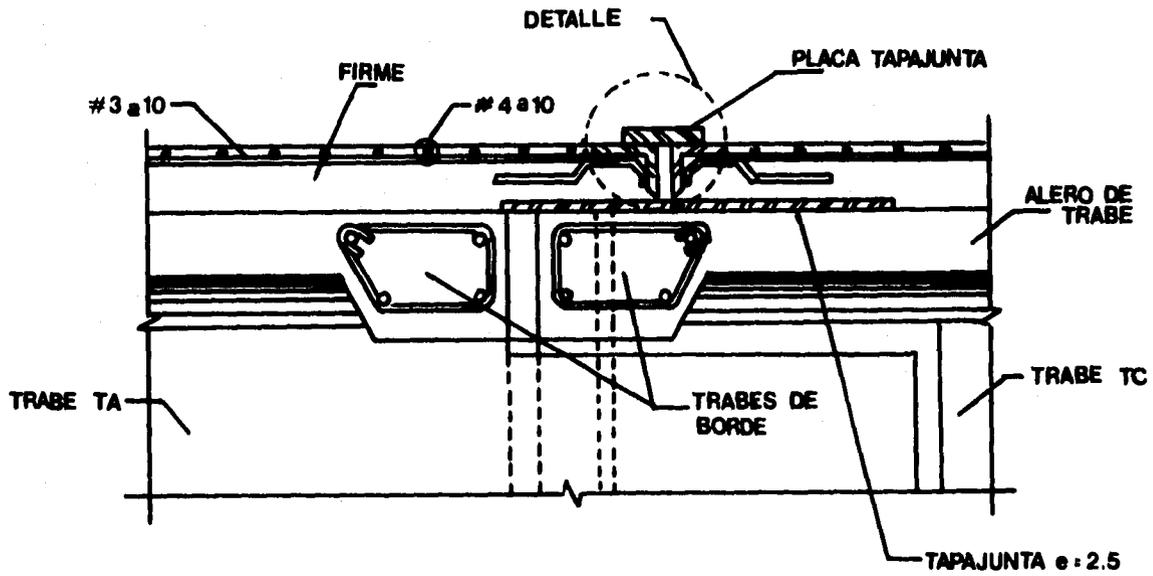


FIGURA 7.9a

FIGURAS 7.9 Y 7.9A.- ACCESORIOS PARA EL FIRME DE COMPRESIÓN

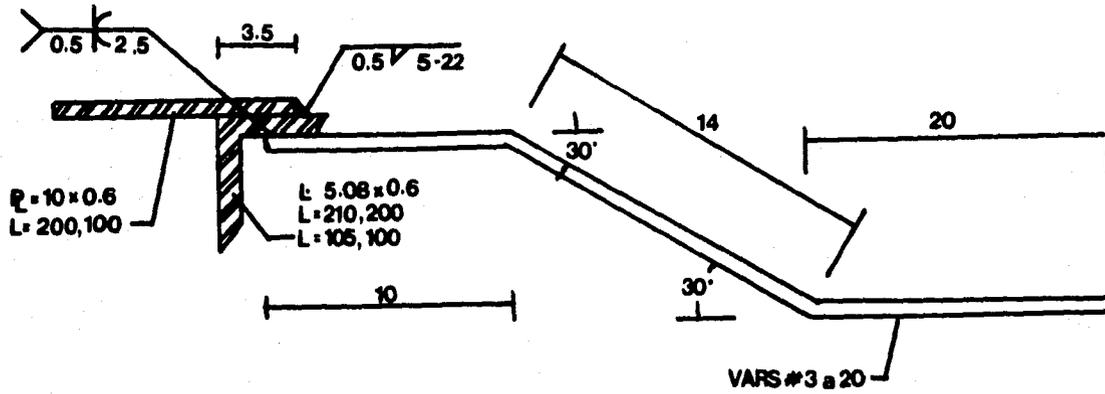


FIGURA 7.9b

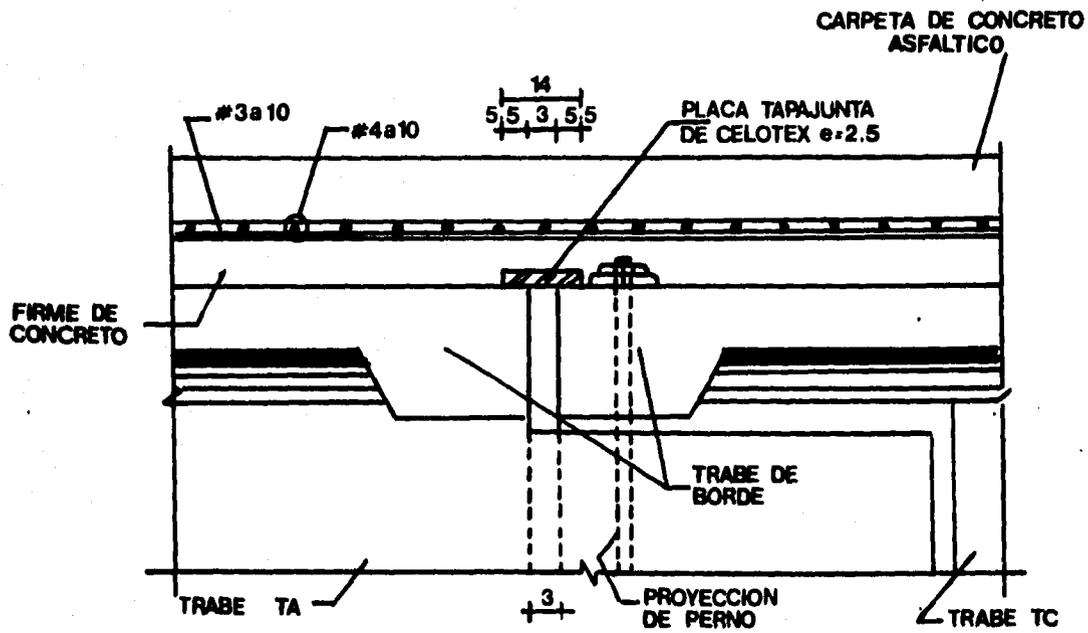


FIGURA 7.10

FIGURAS 7.9B Y 7.10.- ACCESORIOS PARA FIRME DE COMPRESIÓN

## MONTAJE Y NIVELACION...

En la unión entre tableta y tableta, adicional al armado ya mencionado, se usaron varillas del # 4 a cada 20 cm (Figura 7.11, Fotografía 7.13). Al concreto del firme estructural se le dió un acabado rugoso para asegurar su adherencia con la carpeta asfáltica.

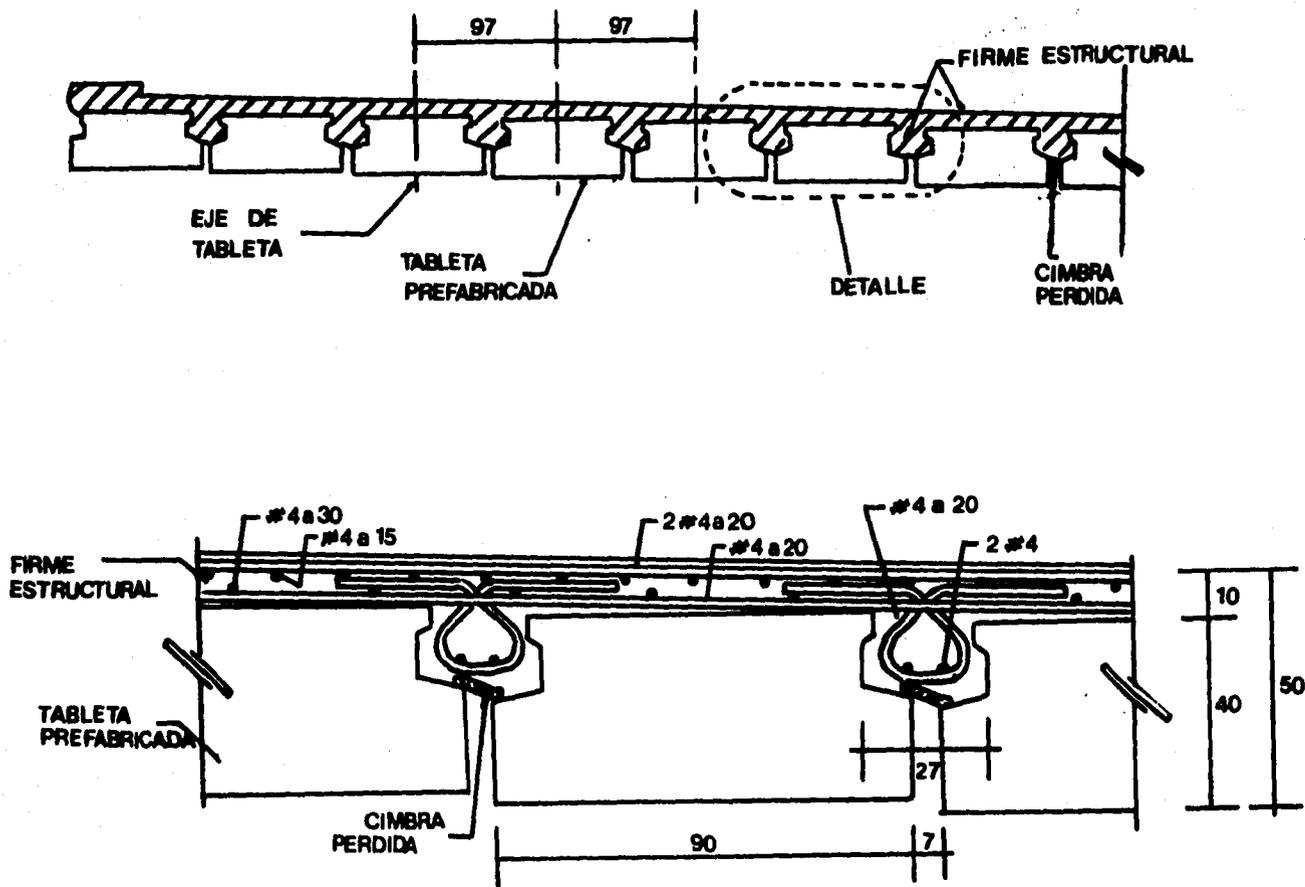
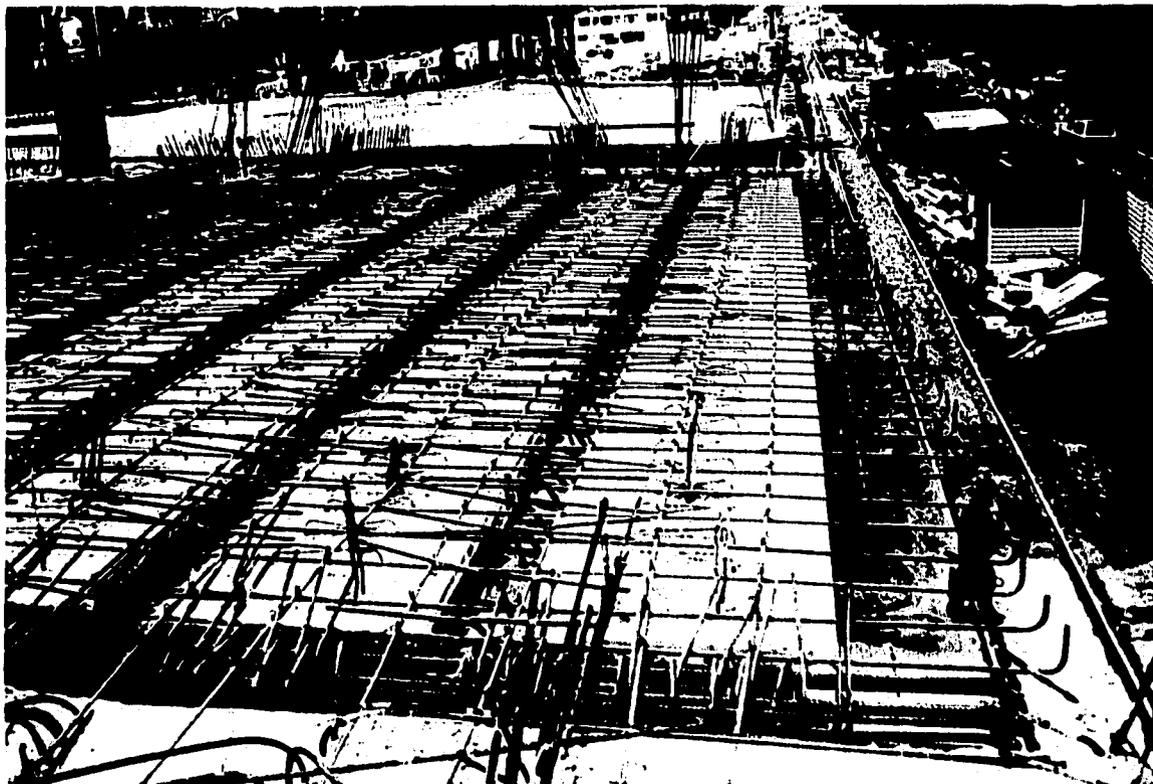


FIGURA 7.11.- FIRME ESTRUCTURAL EN TABLETAS



FOTOGRAFÍA 7.13.- FIRME ESTRUCTURAL EN TABLETAS

## CAPITULO 8 - PROYECTO DE OBRAS EXTERIORES

Así como la estructura del puente es la responsable de la seguridad de la misma, la obra exterior será responsable de su apariencia y de la funcionalidad. Se requieren trabajos específicos que lo hagan funcionar adecuadamente, ello llevó al proyectista a prever la integración y coordinación de todos esos trabajos para cumplir con los objetivos iniciales que motivaron la construcción del paso a desnivel.

### 8.1) PAVIMENTACION

En general, se puede afirmar que la pavimentación, siendo un elemento de enlace entre las vialidades y el autotransporte, no es un servicio de primera necesidad como lo son el agua potable, el drenaje o la energía eléctrica, sin embargo, cumple con la generosa función que permite el desarrollo y el bienestar de una población.

Se define el pavimento como el conjunto de capas de materiales naturales controlados en su dosificación, aplicados ordenadamente sobre el terreno natural y cubiertas por una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la carga, al desgaste, y a la intemperie, y que proporciona adherencia a las ruedas de los vehículos. Esta superficie de rodamiento, es la capa visible o de terminación de una estructura que tiene espesores que van desde 0.25 hasta 2.00 m. En la ciudad de México encontramos espesores de 0.20 a 0.60 m.

Las capas de una estructura de pavimento, colocadas a partir del terreno natural son, generalmente, mejoramiento, sub-rasante, sub-base, base, riegos, carpeta y sello. .

La clasificación de los pavimentos según la superficie de rodamiento es:

1) *Flexible*. De concreto asfáltico. Es una mezcla uniforme de material pétreo dosificado y aglutinado con cemento asfáltico, que puede ser en frío o en caliente. Es importante que el asfalto no esté sólido y envuelva a todas las partículas pétreas, proporcionando una completa adherencia, permitiendo características de manejabilidad en su aplicación, y al endurecer garantice una superficie de rodamiento confortable.

2) *Rígido*. De concreto hidráulico. Es una mezcla de cemento portland, grava, arena y agua, dosificados adecuadamente para proporcionar la resistencia y consistencia requerida.

3) *Pétreo*. Estos generalmente se aplican con una capa de mortero, cemento-arena con proporción 1:4 de 0.11 m de espesor promedio, siendo de piedras o de adocretos.

En el caso del paso a desnivel se utilizó pavimento tipo flexible y se construyó sobre el terraplén aligerado (Figura 8.1)

La conexión entre los pavimentos existentes y los del puente se realizó en forma escalonada, conservando cada escalón un ancho mínimo de 0.30 m (Figura 8.2).

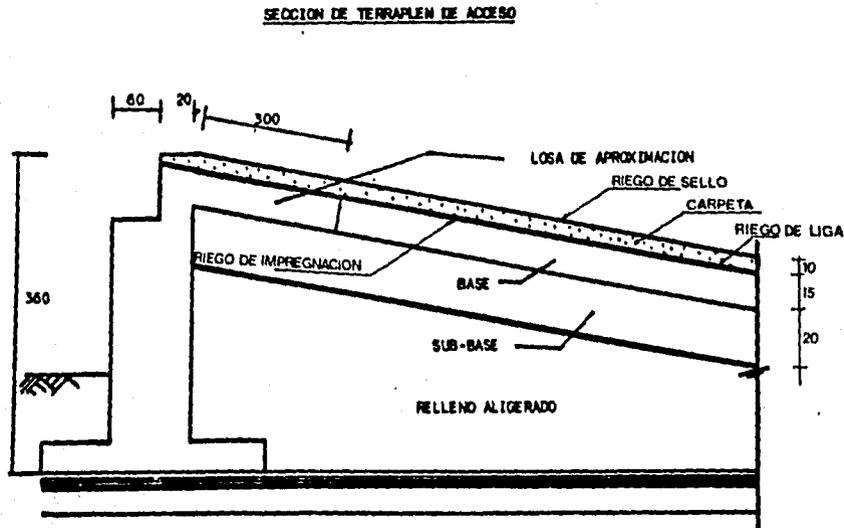
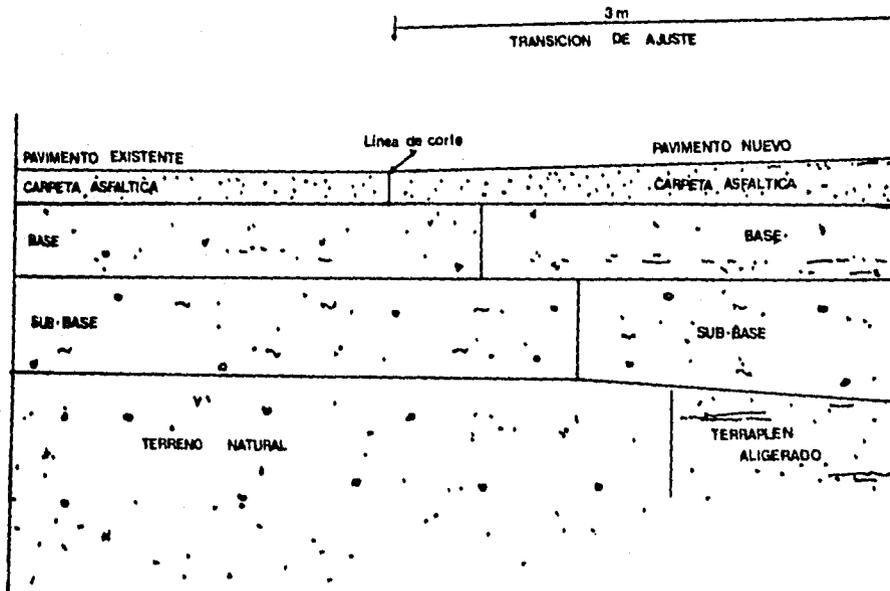


FIGURA 8.1



CONEXION CON PAVIMENTO EXISTENTE

FIGURA 8.2

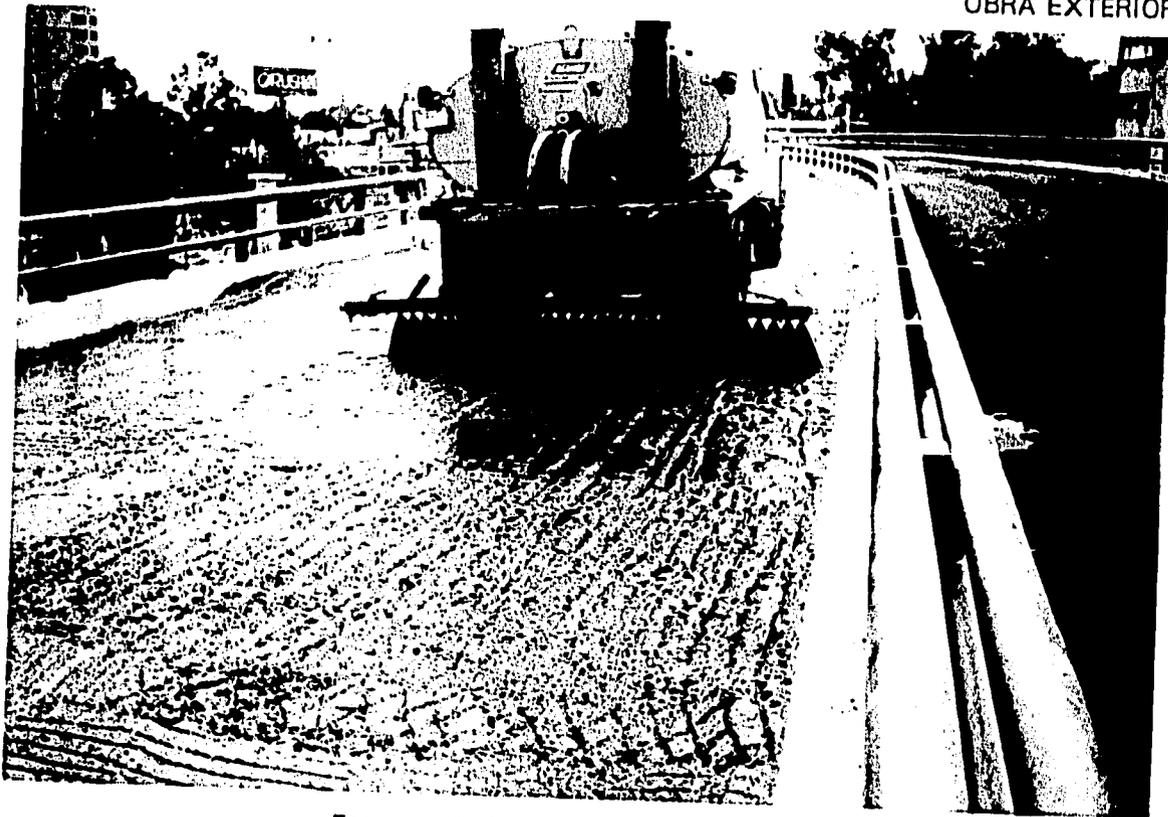
FIGURAS 8.1 Y 8.2.- PAVIMENTACIÓN

Sobre capa sub-rasante se construyó la capa sub-base, con un espesor de 0.20 m a una compactación del 95% de la prueba Proctor modificada, formándose por dos capas, compactando la primera con rodillo neumático ligero para que la compactación fuese uniforme.

Una vez construida la sub-base, se construyó la base, de 0.15 m de espesor, compactada al 98% de la prueba Proctor modificada, y sobre ella estando seca, libre de polvo y partículas sueltas, se aplicó un riego de impregnación con producto asfáltico, a 50°C de temperatura de aplicación, penetración de 3 mm mínimo y absorción total a las 24 hrs máximo. Este riego sólo se utilizó en la parte del terraplén y se colocó durante las horas más calurosas del día, entre las 11 y las 14 hrs. La base impregnada se cerró a cualquier actividad por un lapso de 48 hrs (Fotografía 8.1), Después de las cuales se aplicó el riego de liga a 70°C, teniendo la superficie impregnada limpia y seca (Fotografía 8.2).

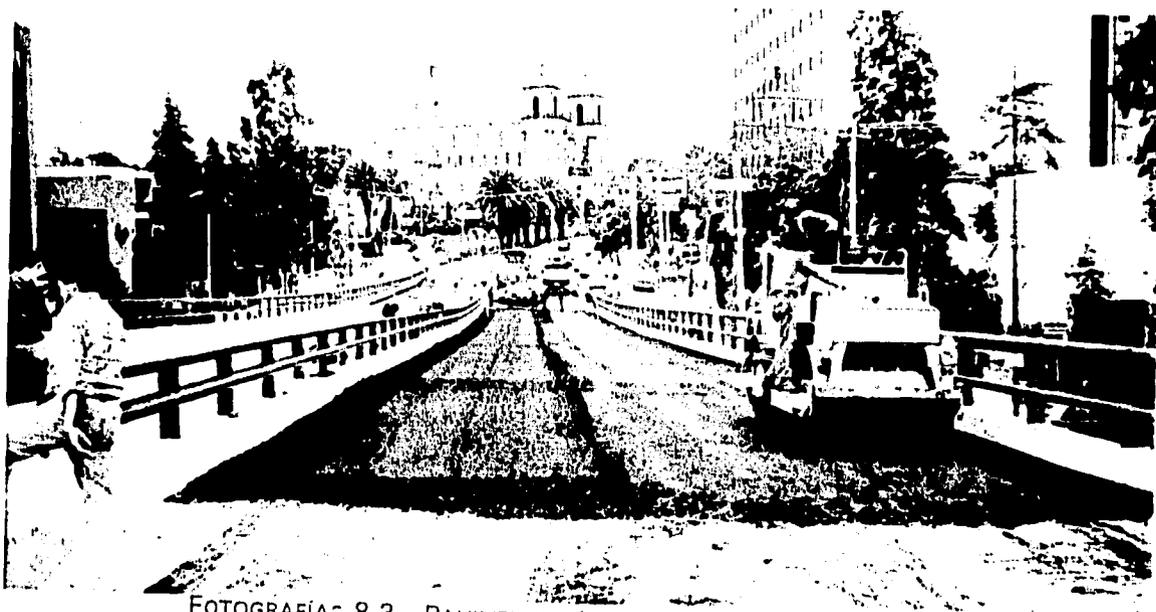


FOTOGRAFÍA 8.1.- RIEGO DE IMPREGNACIÓN

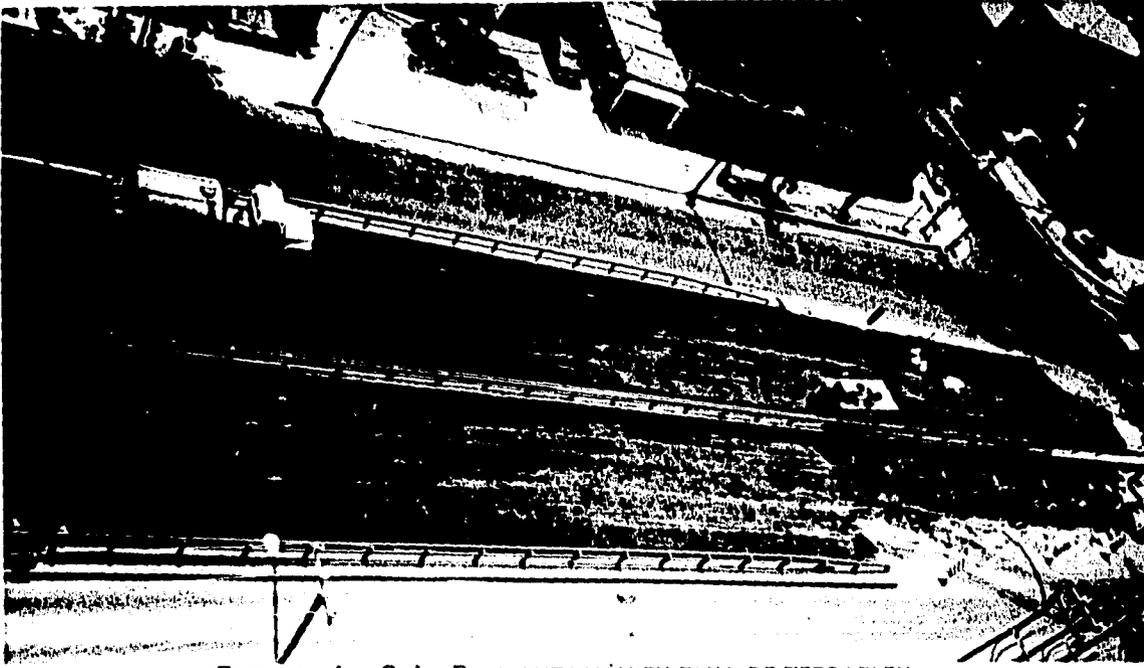


FOTOGRAFÍA 8.2.- RIEGO DE LIGA

Transcurridos 30 min. del riego de liga se, construyó la carpeta asfáltica mediante el tendido y compactado de mezcla elaborada en caliente, en una planta estacionaria, utilizando cemento asfáltico (Fotografías 8.3 y 8.4), la cual tiene un espesor de 0.10 m, compactado al 98% mínimo, temperatura de colocación 110°C mínimo, temperatura de compactación de 100 a 110°C y temperatura de terminado 70°C.



FOTOGRAFÍA 8.3.- PAVIMENTACIÓN EN ZONA DE TERRAPLEN



FOTOGRAFÍA 8.4.- PAVIMENTACIÓN EN ZONA DE TERRAPLEN

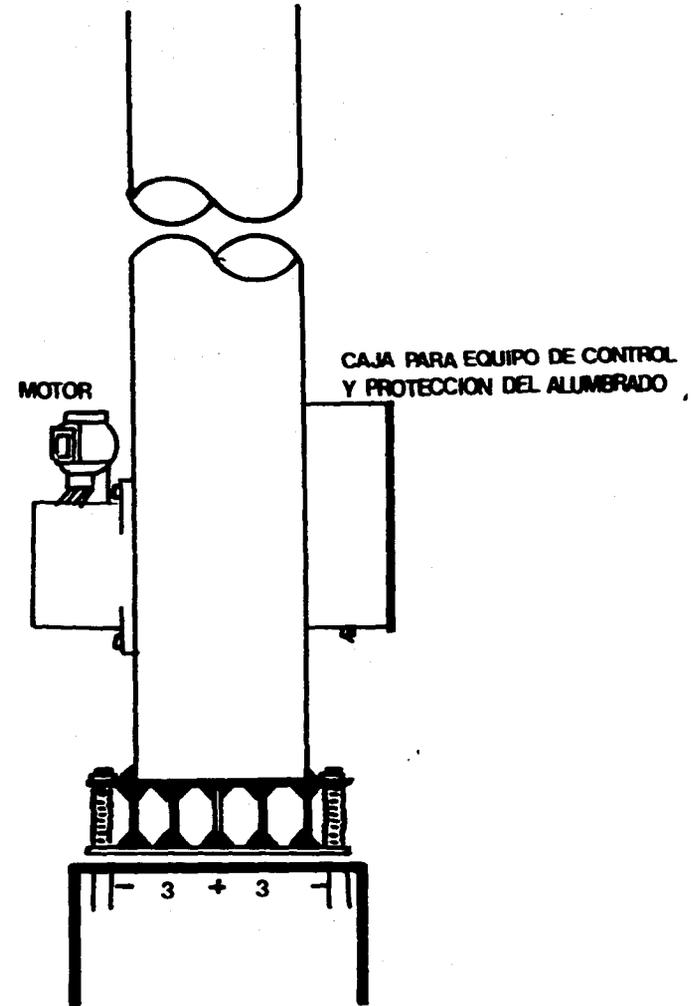
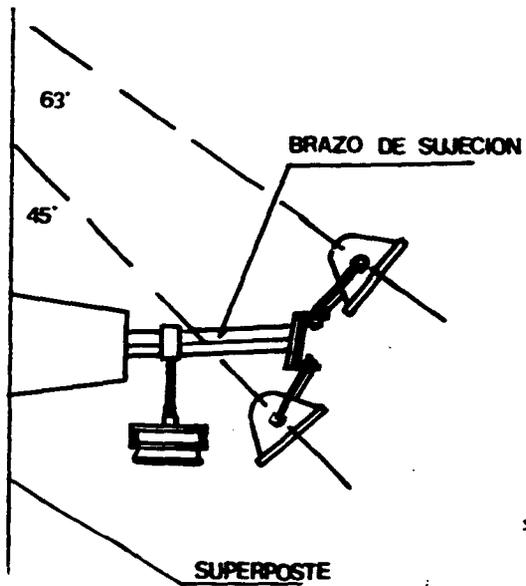
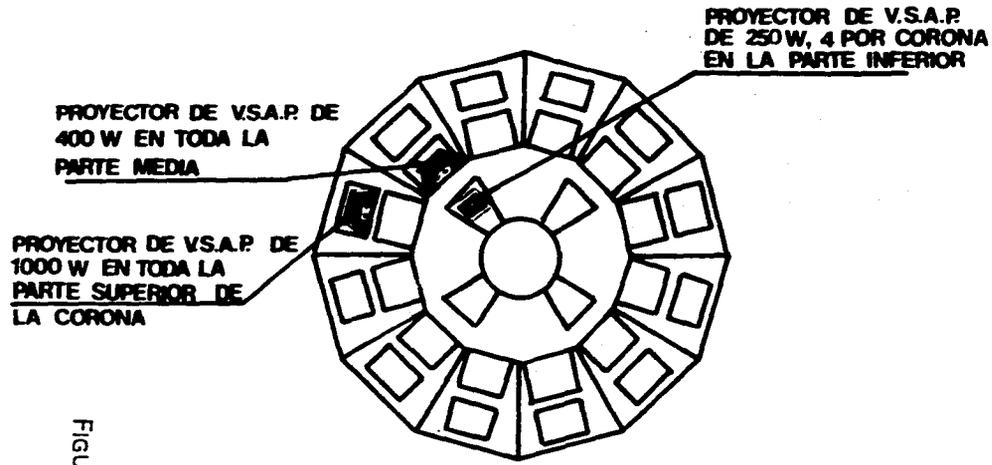
Finalmente se aplicó el riego de sello de la carpeta, que consistió de cemento asfáltico o asfalto rebajado, a 130°C mínimo, de fraguado rápido cubierto con material pétreo. El sello se aplicó en toda la vialidad previo a la apertura la circulación.

Los riegos de impregnación y liga se hicieron por medio de una pretrolizadora formada por un camión en cuya parte trasera lleva un tanque térmico construido por quemadoras de gas o petróleo que dan la temperatura adecuada al producto asfáltico. El tendido se realizó con una pavimentadora Finisher.

La compactación de la carpeta se hizo por medio de una compactadora tandem de 8 Ton de peso, y se alcanzó una temperatura mínima de 70°C. Al tiempo que la compactadora trabaja, es necesario aplicarle agua a los rodillos para evitar que la carpeta se pegue y se levante.

## 8.2) ALUMBRADO

El alumbrado del puente consiste en dos postes de 25m de altura y dodecagonal cada uno, llamados comúnmente *superpostes* para diferenciarlos de los postes utilizados normalmente en el alumbrado público. Para dar una longitud de 25 m alrededor, cada uno de ellos está formado por tres secciones de luminarios, fabricados en lámina negra de 6.4 mm de espesor, provisto con 12 protectores de 1000 Watts (W) en la parte superior de la corona, 12 protectores de 400 W en la parte inferior, y cenitalmente 4 protectores de 250 W; cada protector trabaja con Vapor de Sodio a alta presión (V.S.A.P.) (Figura 8.3).



OBRA EXTERIOR

FIGURA 8.3.- SUPERPOSTE

Los superpostes se activan por medio de una combinación de contactor, interruptor termomagnético y una fotocelda de 2 polos x 30 Amperes. Con el interruptor termomagnético, el alumbrado puede encenderse manualmente, sin embargo, por lo general, se activa automáticamente con la fotocelda que funciona mediante un circuito que cierra cuando el cielo empieza a oscurecerse.

La alimentación de éstos superpostes se hizo por medio de tubos de concreto de 102 mm (4") de diámetro, tres cables calibre 3/0 y un cable calibre 1/0.

En este alumbrado superficial también se cuenta con 18 luminarios de 400 W de alta tensión instalados en postes de forma cónica de 12 m de altura, constituidas por un brazo de 2.40 m de longitud, provisto de una placa base de 35 x 35 x 1.3 cm cada uno, a la que se fijaron, con un juego de 4 anclas de fierro de 1" de diámetro y 60 cm de longitud. Los postes están soportados cada uno por una base de concreto de forma troncopiramidal, de 10 cm de base, 10 cm de altura y 60 cm de corona (Fotografía 8.5, Figura 8.4).



FOTOGRAFÍA 8.5.- BASE DE POSTE CÓNICO

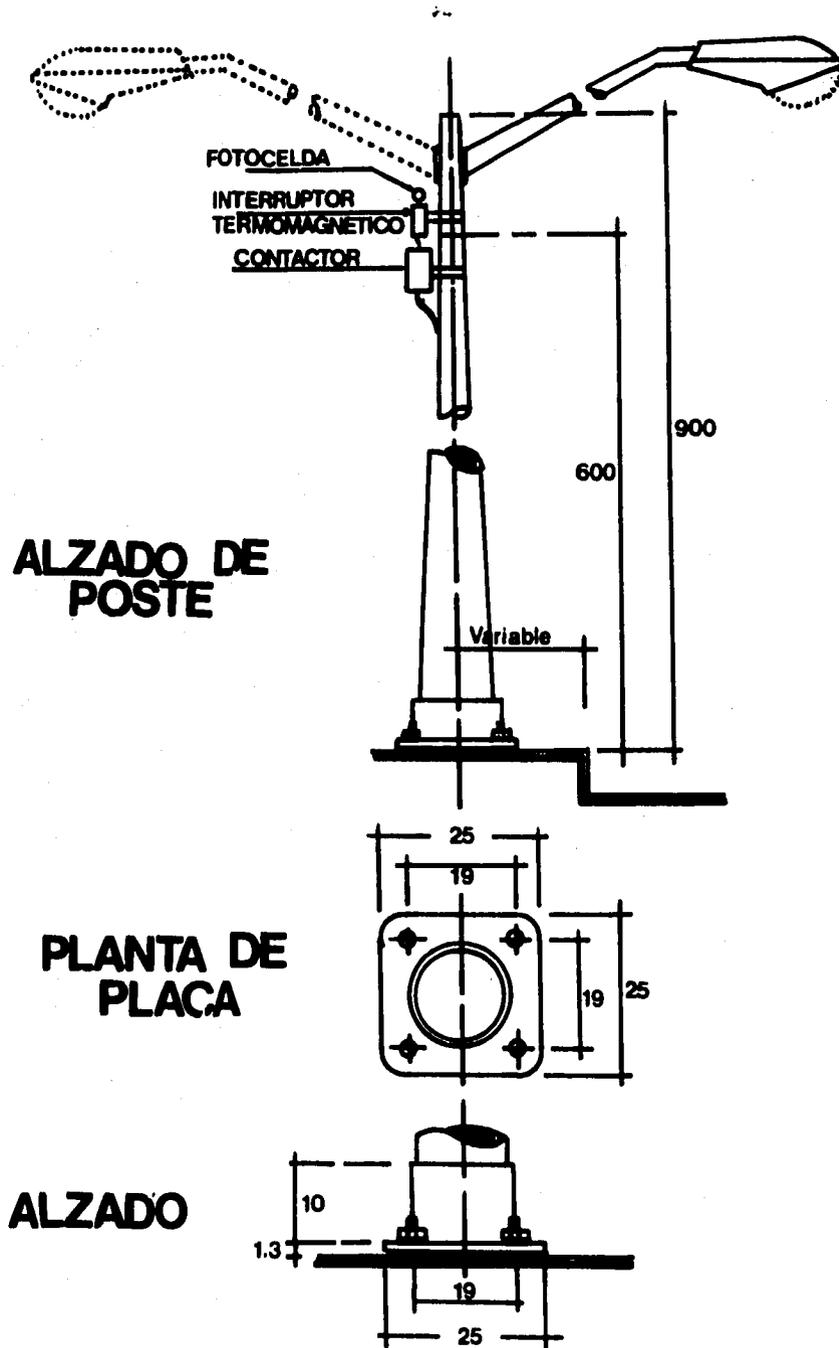


FIGURA 8.4.- POSTE CÓNICO

## OBRA EXTERIOR

Se respetaron los postes existentes. Aquellos removidos durante la construcción se colocaron posteriormente en su mismo sitio, siendo 7 de dos brazos y 51 de un brazo con sus respectivos luminarios. La distancia entre cada poste es de 30 m de eje a eje aproximadamente.

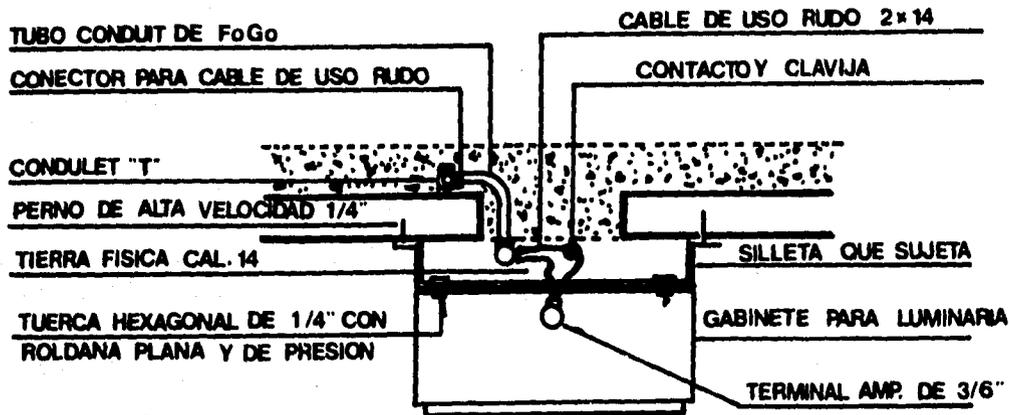
La alimentación de los postes cónicos se hizo con tubos de concreto de 102 mm (4") de diámetro y dos cables monopares calibre No.6 AWG. La pendiente de toda la tubería de alimentación fué del 3% hacia los registros instalados a 50 cm de profundidad en camellón o banqueta y 35 cm en cruces de arroyo.

El alumbrado bajo el puente principal se hizo con 63 luminarias tipo arbotante fijadas en las traveses, y 15 luminarias tipo centro fijadas en losa, ambas de 150 W VSAP. La alimentación se realizó con dos cables calibre No. 8 dentro de tubo de fierro galvanizado de pared gruesa de 38 mm de diámetro que se dejó ahogado en el firme de compresión (Fotografía 8.6, Figura 8.5). En el muro estribo se tiene el banco de contactores y fotoceldas para el alumbrado bajo el puente.

Se cuenta con 24 registros de paso de 0.60 x 0.80 x 1.24 m y 3 registros de candelabro de 0.50 x 0.65 x 0.66 m. La diferencia entre ellos, aparte de sus dimensiones, es que los de paso están únicamente para hacer inspección de las instalaciones, y los de candelabro sirven para hacer interconexiones o agregar los circuitos que sean necesarios, así como para dar mantenimiento a todo el alumbrado (Figura 8.6). En la figura 8.6 se observa la distribución de todo el alumbrado a lo largo del puente.



FOTOGRAFÍA 8.6.- ALIMENTACIÓN PARA ALUMBRADO BAJO EL PUENTE



### FIJACION DE LUMINARIA EN TRABE

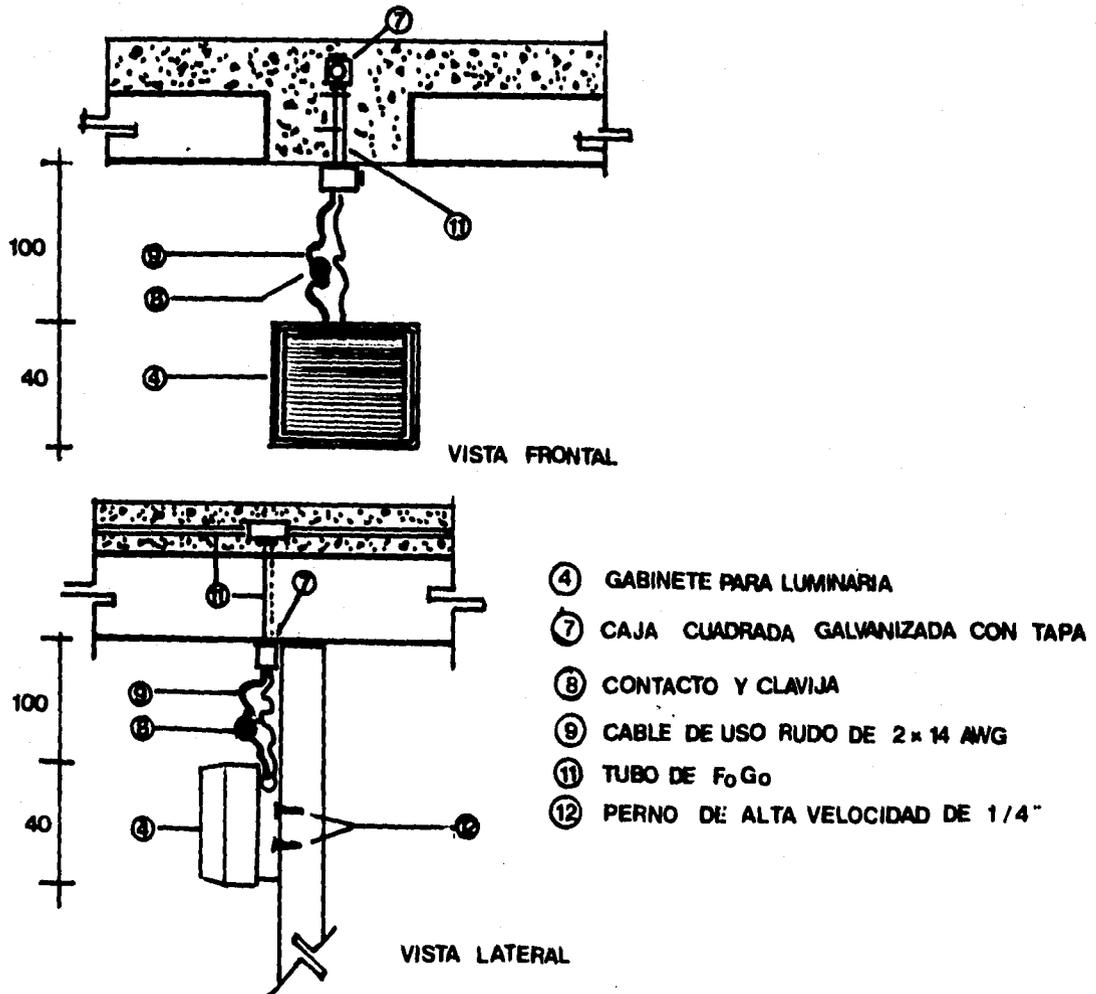


FIGURA 8.5.- ALUMBRADO BAJO EL PUENTE

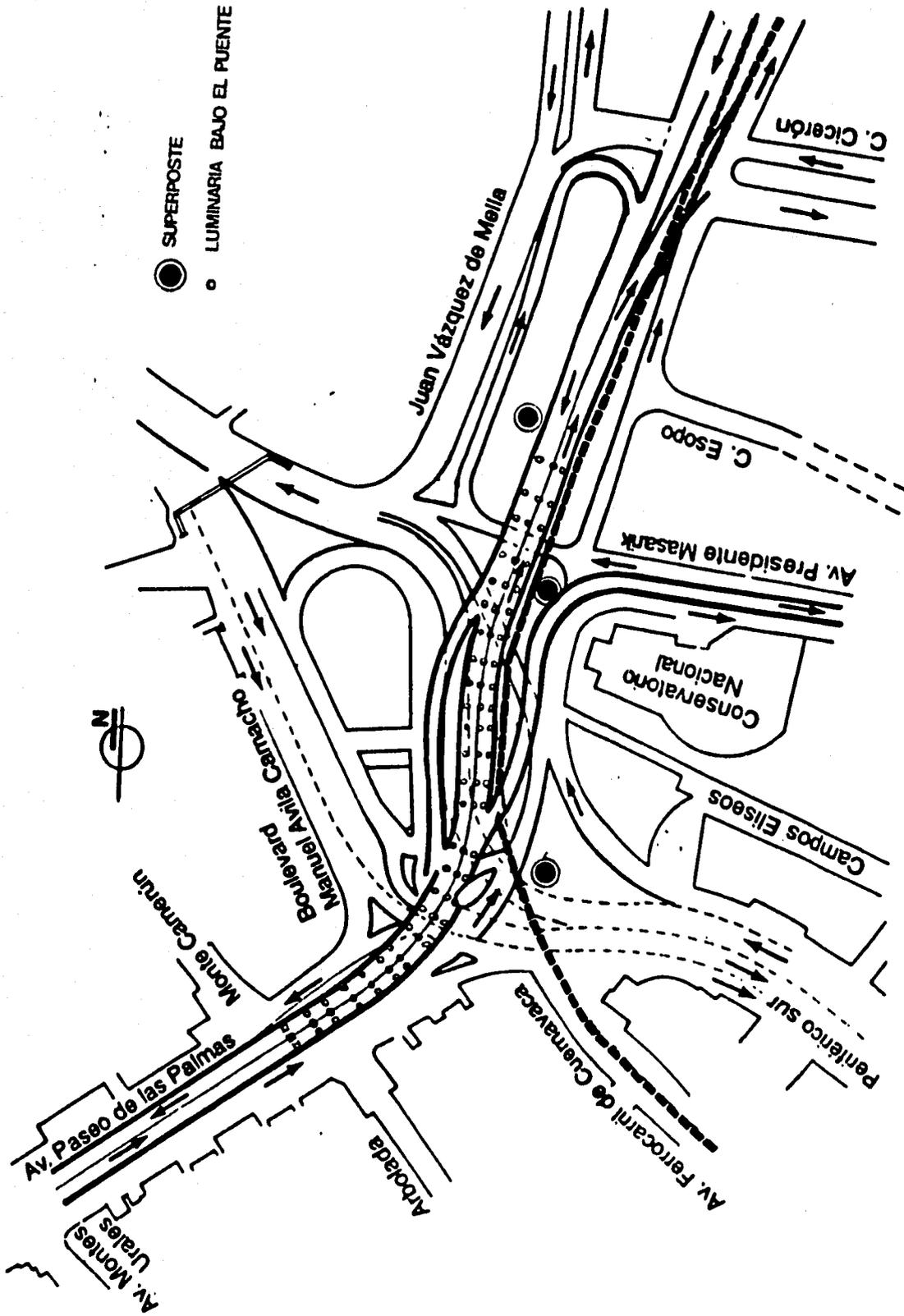
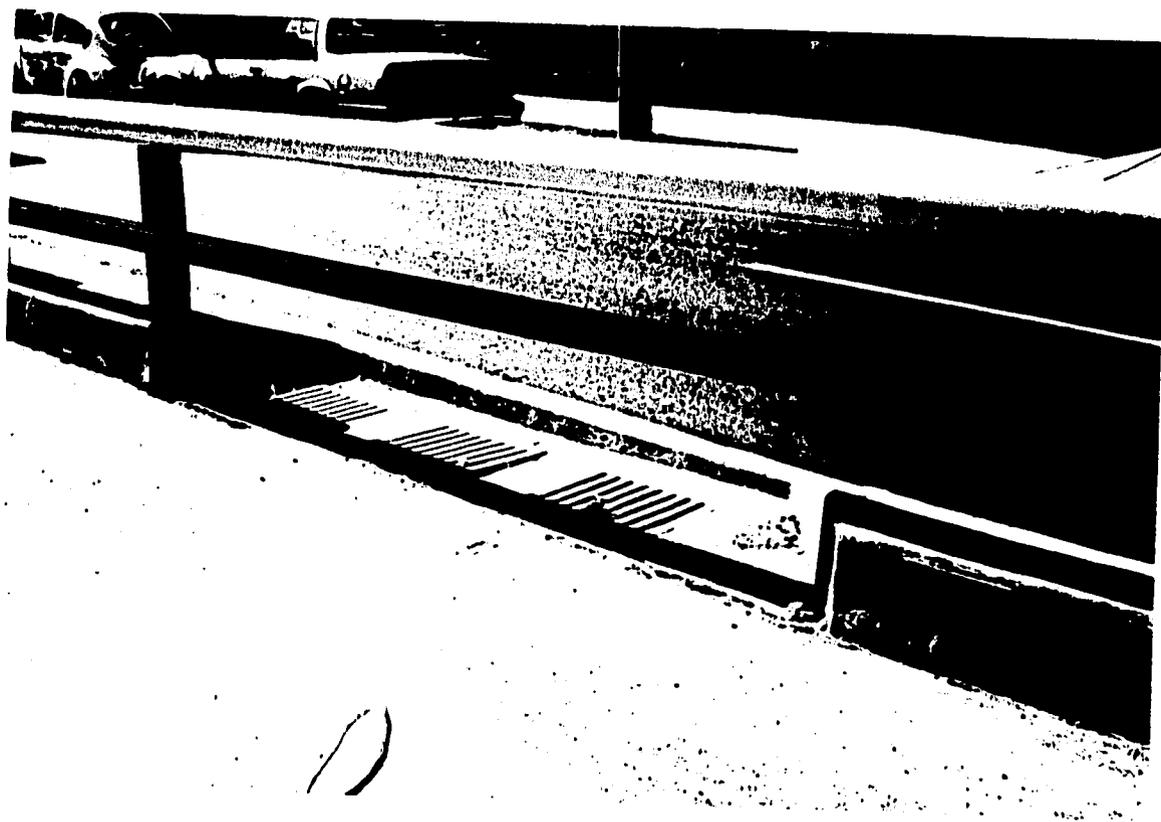


FIGURA 8.6.- ALUMBRADO GENERAL

### 8.3) ALCANTARILLADO

El alcantarillado instalado únicamente capta aguas pluviales. El agua que escurre por el puente llega a un registro de 2.40 x 0.66 m y 1.60 m de profundidad tapado con tres rejillas que se abren por medio de bisagras, hecho de tabique rojo recocido, aplanado con mortero cemento-arena y se conecta con un pozo de visita ya existente por medio de tubos de albañal de 30 cm de diámetro interior, y estos a su vez a una coladera de banqueta (Figura 8.7). Estas rejillas en conexión múltiple están localizadas en el ascenso y descenso del paso a desnivel (Fotografía 8.7).

Para lograr que el agua llegue hasta las rejillas se hizo una pendiente del 3% del centro de la vialidad hacia las guarniciones o cunetas y en ésta parte con la carpeta asfáltica se hizo un bisel que sirve de canal para el escurrimiento del agua y evitar así el encharcamiento sobre la vialidad.



FOTOGRAFÍA 8.7.- ALCANTARILLADO



CAPITULO 9 - PROBLEMAS DURANTE LA CONSTRUCCION Y CONCLUSIONES

En toda obra civil se encuentran imprevistos o problemas que muchas veces cuestan el retraso de la obra, la adaptación de recursos materiales y humanos y/o hasta la replaneación y realización de un nuevo proyecto. El paso a desnivel Palmas-Periférico no fue la excepción.

Los primeros problemas fuertes que se presentaron fueron los provocados por la vialidad. Los desvíos de tránsito a lo largo de toda la obra estuvieron presentes, ya que la obra se hizo con circulación activa de vehículos. Para la organización del tránsito se subcontrató al Departamento de Obra Civil del Departamento del Distrito Federal que se encargó de manejar esas situaciones, no obstante, fue muy difícil el desempeño de los trabajos, ya que se extremaron precauciones para trabajadores y transeúntes (Fotografía 9.1).



FOTOGRAFÍA 9.1.- DESVÍOS DE TRÁNSITO

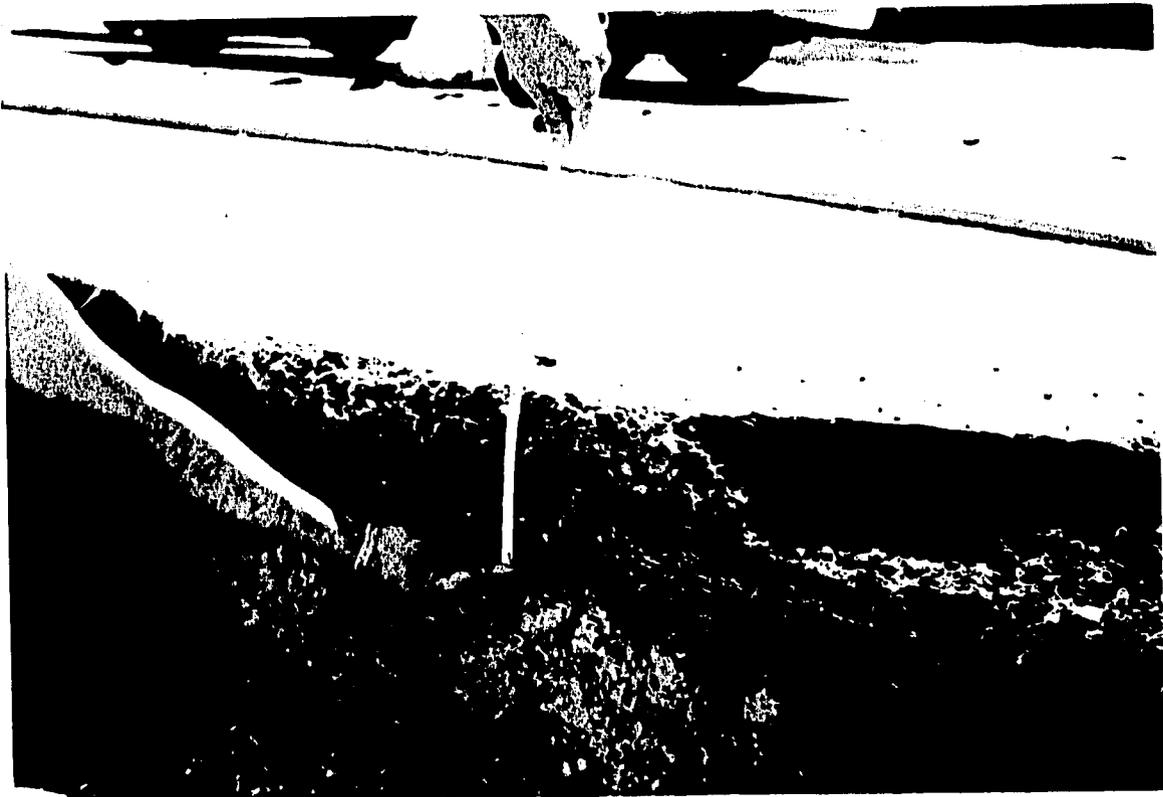
La cuestión de desviación del tráfico no sólo se solucionó con la subcontratación del Departamento de Obra Civil sino que tuvieron que hacerse bacheos y ampliaciones de las calles para hacerlas transitables.

## PROBLEMAS Y CONCLUSIONES

Los postes de semáforos y de alumbrado se libraron lo más posible, ya que estaban en servicio, y se tuvo que trabajar a pesar de ellos.

Tirar árboles está prohibido, sin embargo, no se pudo evitar, ya que los que estorbaban tenían una altura de entre 40 y 50 m, se podaban en las noches hasta dejarlos a una altura de 4 a 6 m para poder hacer el trasplante del tocón que difícilmente vuelven a crecer. Fueron aproximadamente 40 árboles.

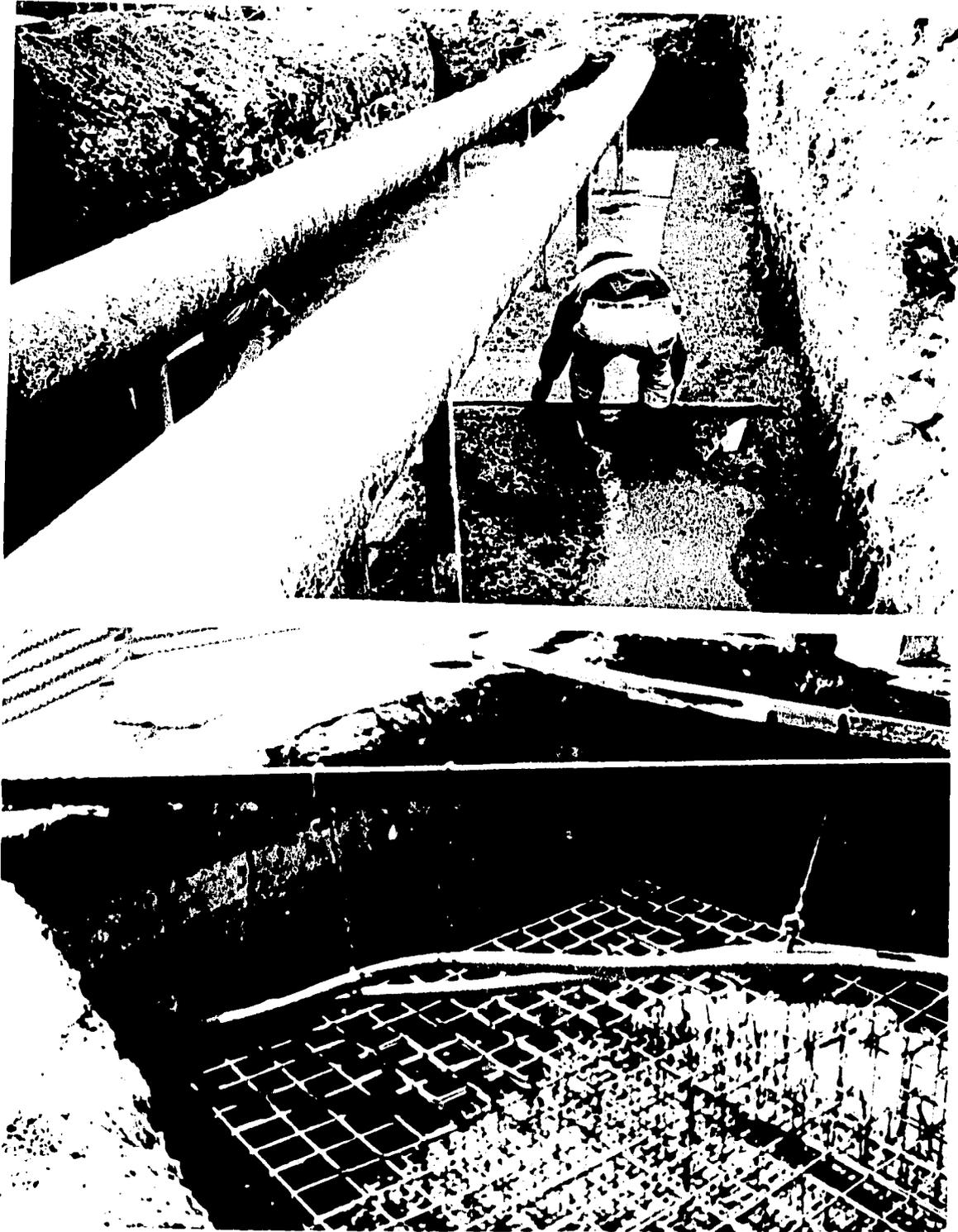
Al iniciar las excavaciones para las pilas, se encontraron losas, muertas de concreto y espesores de carpetas hasta de 0.40 m, de años anteriores. Debajo de esa carpeta existía un empedrado llamado "peyolote" a base de roca y formaba el cuerpo de la pavimentación (tierra vegetal, piedra colocada con boleó y el pavimento en sí), ésto representó tiempo para las excavaciones (Fotografía 9.2).



FOTOGRAFÍA 9.2.- CARPETAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## PROBLEMAS Y CONCLUSIONES

En el sitio de localización de todas las zapatas se encontraron ductos de cables de alto voltaje de la Comisión de Luz y Fuerza del Centro, que para librarlos se pasaba debajo de ellos, haciendo puentes apuntalados con polines y zunchos de alambre o alambρόn para colgarlos de ellos, se colocaba el acero y se colaba (Fotografías 9.3 y 9.3a).



FOTOGRAFÍAS 9.3 Y 9.3A.- INTERFERENCIAS

## PROBLEMAS Y CONCLUSIONES

Debido a los problemas encontrados se previó hacer excavaciones manuales a 1.20 m de profundidad para localizar las tomas domiciliarias de agua potable, las que se encontraron a menos de 0.50 m de profundidad hechas a base de plomo.

A pesar de las precauciones y medidas tomadas no se pudo evitar la ruptura de un ducto de agua potable de 4", lo cual provocó la saturación del terreno que se tuvo que estabilizar bombeando. El residente se vió en la necesidad de buscar la válvula de seccionamiento de la línea de alimentación para cerrarla provisionalmente, mientras se le daba a conocer el incidente a la Dirección General de Construcción de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal y tomara parte en el asunto. Cabe mencionar que se adquiere mucha responsabilidad al tomar una decisión como la tomada por el residente, pero se prefirió ésto a el desperdicio de grandes volúmenes de agua, que aún así fueron significativos (Fotografía 9.4).



FOTOGRAFÍA 9.4.- TUBERÍAS DE AGUA POTABLE

## PROBLEMAS Y CONCLUSIONES

Todas éstas interferencias no se modificaron ya que es muy peligroso intentar cambiar la ruta de todos éstos ductos.

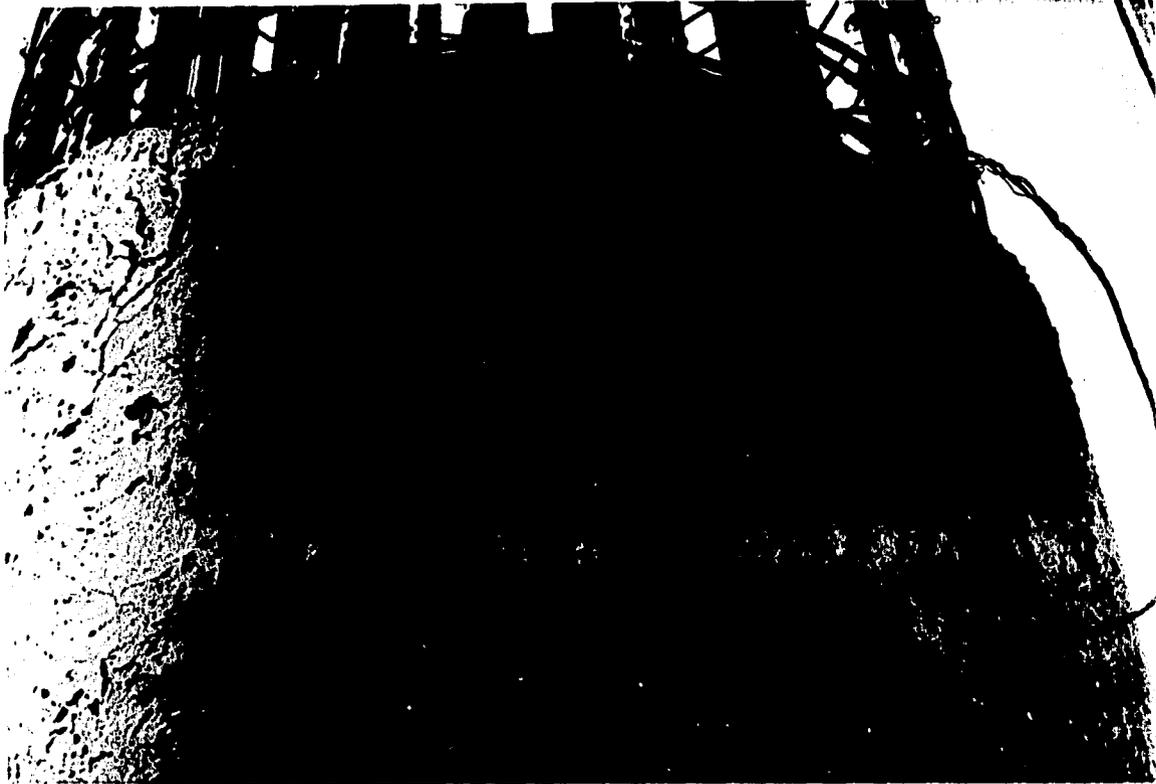
El tener la vía del ferrocarril tan cerca, a 2.00 m de su eje, también significó problema. En ocasiones se trabajó sobre la vía aprovechando al máximo el tiempo. El problema fuerte se presentó cuando al tener ya colados la zapata del muro estribo y el mismo muro, llegó la supervisión de ferrocarriles e informó que se debía dejar una distancia de 2.00 m entre la vía y el muro junto con su zapata, siendo que en proyecto, había solamente 1.00 m. Se modificó el proyecto y tuvo que demolerse gran parte del muro y su zapata (Fotografía 9.5).



FOTOGRAFÍA 9.5.- INTERFERENCIA CON VÍA DEL FERROCARRIL

## PROBLEMAS Y CONCLUSIONES

Dos columnas y un capitel tuvieron que demolerse porque se estaban descascarando. Tenían una apariencia no aceptable y mucho menos confiable; la concretera APASCO explicó que era por el exceso de fluidizante, y garantizó que no tendrían problemas de resistencia, sin embargo, la supervisión ordenó su demolición; se hicieron cargos a la concretera por los 15 días que se invirtieron en la demolición de los elementos, provocado por sus armados tan robustos (Fotografía 9.6).



FOTOGRAFÍA 9.6.- COLUMNA POR DEMOLERSE

El problema más fuerte por su gran importancia lo constituyó el conjunto de ductos de PEMEX, que al localizarlos se tuvo la necesidad de llamar a su personal especializado; esto ocasionó un retraso grande, sobre todo por que se tardaron alrededor de un mes en dar la solución al problema, emitiendo las especificaciones siguientes:

- La excavación se realizaría en una sólo etapa y en tramos de 10 m máximo y correspondería a excavar toda el área con un sobrecancho de 0.50 m por lado hasta la profundidad de proyecto con un talud 2:1, tanto en las paredes de excavación como en el frente de excavación. Posteriormente, sería necesario restringir el tránsito de maquinaria y vehículos en un perímetro de 2.00 m del talud, así también se evitaría cualquier actividad que representara una sobrecarga a la misma distancia (Fotografías 9.7 y 9.8).



FOTOGRAFÍA 9.7.- DUCTOS DE PEMEX



FOTOGRAFÍA 9.8.- DUCTOS DE PEMEX

## PROBLEMAS Y CONCLUSIONES

- Cuando el nivel de la excavación alcanzara el nivel medio de las instalaciones se procedería a calzar estas, con la finalidad de excavar todo el volúmen para poder alojar el cajón.
- Era importante que los últimos 0.20 m se realizaran con herramienta manual con el objeto de alterar lo menos posible las condiciones naturales del terreno.
- En caso de presentarse lluvias o encharcamientos en la excavación conforme avanzara, se implementarán zanjas y cárcamos de bombeo aproximadamente de 0.50 x 0.50 m en uno de sus lados, realizando los trabajos necesarios para que el fondo de la excavación tuviera pendiente hacia el dren.

Una vez realizado todo lo anterior especificado por PEMEX, se procedió a armar, colar y colocar tabletas del cajón, con la finalidad de proteger los ductos de cualquier sobrecarga o movimiento que pudieran provocar su falla. Posteriormente, se rellenó con material limo-arenoso (tepetate). Fue de vital importancia la presencia del personal especializado de PEMEX durante la ejecución de la construcción del cajón (Figura 9.1).

PROBLEMAS Y CONCLUSIONES

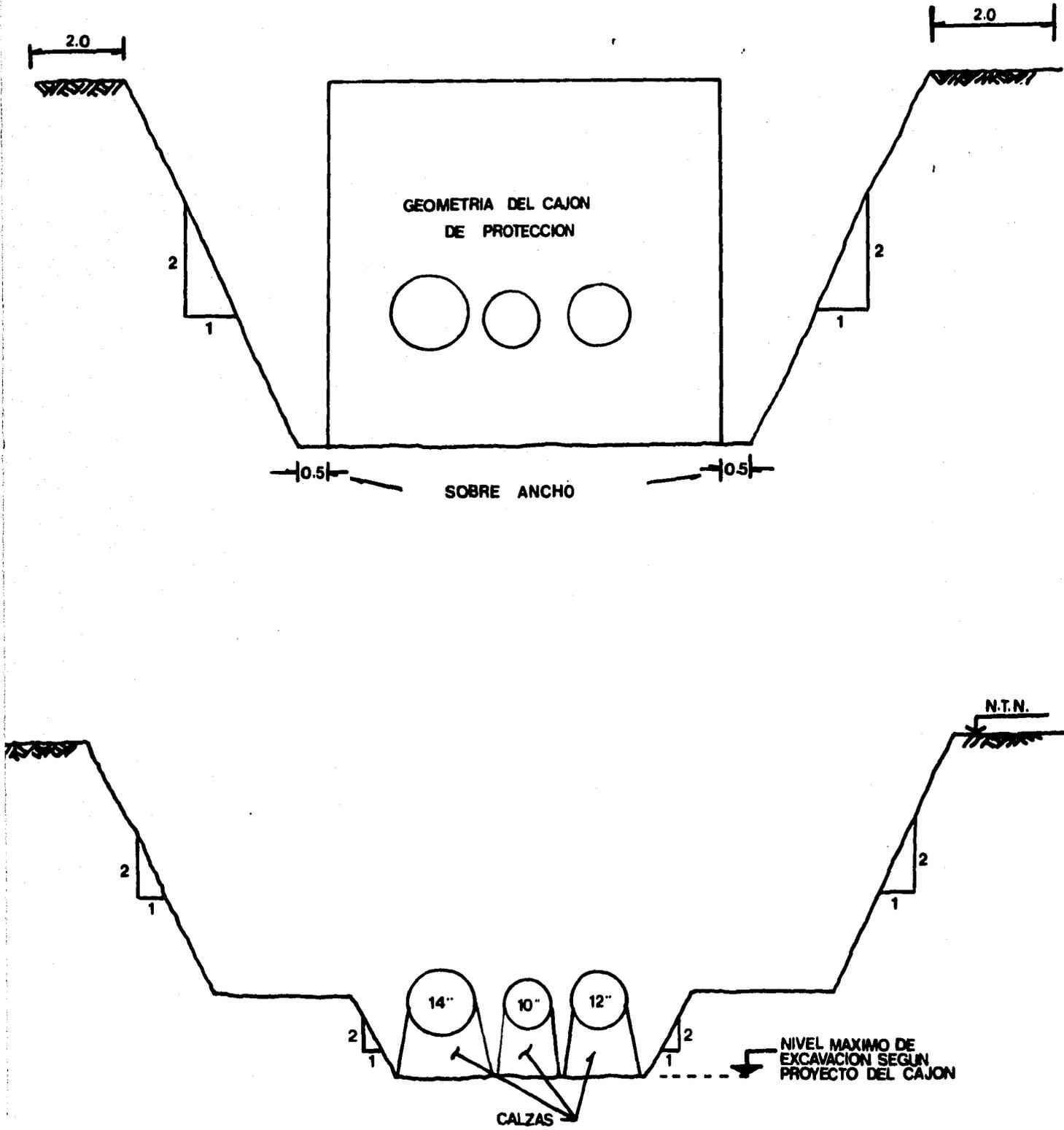


FIGURA 9.1.- PROYECTO PARA DUCTOS DE PEMEX

## CONCLUSIONES

Como consecuencia de esta obra se recuperan 8,000 m<sup>2</sup> de área verde, mejorando con esto la imagen urbana de la zona, además se incluye en el desarrollo de la obra, dispositivos para el control del tránsito, alumbrado público y acabados para su óptimo funcionamiento. Beneficiando así a los habitantes que constantemente transitan por la zona, a su vez, disminuye recorridos, abate la pérdida de horas-hombre por congestionamientos viales, reduce los niveles de contaminación, al realizarse el cruce continuo de vehículos, así como menor consumo de combustible.

El proyecto se realizó con los últimos adelantos en tecnología estructural. Al realizarse la construcción en etapas continuas se optimó en lo posible el tiempo, pues mientras se construía la cimentación del distribuidor, al mismo tiempo se fabricaban en taller, pero fuera de la obra, las trabes de concreto pretensado, sin embargo, se encontraron interferencias tales como instalaciones de teléfonos, agua potable, drenaje, alta tensión, ductos de PEMEX, se trató de darles solución simultanea, pero no siempre se consiguió.

En una obra de tal magnitud es inevitable la presencia de imprevistos, pero muchos de estos problemas se hubieran evitado si se hubiera hecho un estudio de exploración esmerado, tomando en cuenta, las posibles interferencias de acuerdo a la ubicación de la obra.

Este es un ejemplo de la falta de coordinación de las partes involucradas. Es por eso sumamente importante, tanto para el supervisor como para el constructor, revisar detenidamente los planos del proyecto y estimar un tiempo real para la ejecución de la obra, así como dar un tiempo más de ajuste para problemas que pudieran presentarse, ya que construir con errores de proyecto provoca mayor costo y un retraso importante como el que se muestra en el programa, comparando el tiempo estimado de proyecto y el real.

PROBLEMAS Y CONCLUSIONES

PARTIDAS	1992												1993											
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
TRABAJOS PRELIMINARES																								
I.1 OBRAS INDUCIDAS																								
I.2 SEÑALAMIENTO PREVENTIVO																								
I.3 DESVIOS Y ADECUACIONES VIALES																								
I.4 TRAZO Y NIVELACION																								
CIMENTACION																								
II.1 EXCAVACIONES																								
II.2 ARMADO Y COLADO DE PILAS																								
II.3 ARMADO Y COLADO DE ZAPATAS																								
II.4 RELLENOS																								
ESTRUCTURA																								
III.1 ARMADO Y COLADO DE COLUMNAS																								
III.1 ARMADO Y COLADO DE MUROS DE CONTENCION																								
III.1 ARMADO Y COLADO DE MUROS ESTRIBO																								
III.4 FORMACION DE TERRAPLENES																								
SUPERESTRUCTURA																								
IV.1 FABRICACION Y TRANSPORTE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS																								
IV.2 COLOCACION DE ELEMENTOS DE SOPORTE PARA TRABES TA																								
IV.3 MONTAJE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS																								
IV.4 ARMADO Y COLADO DE DIAFRAGMAS																								
IV.5 POSTENSADO DE DIAFRAGMAS																								
IV.6 ARMADO Y COLADO DE FIRME DE COMPRESION																								
OBRAS COMPLEMENTARIAS																								
V.1 PAVIMENTACION																								
V.2 DRENAJE																								
V.3 ALUMBRADO																								
V.4 SEÑALAMIENTO DEFINITIVO																								

 PROGRAMA DE PROYECTO  
 PROGRAMA REAL

PROGRAMA DE OBRA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **"MECANICA DE SUELOS", TOMO II**  
Juárez Badillo y Rico Rodríguez  
Editorial LIMUSA
2. **"APUNTES DE PRESFUERZO Y PREFABRICACION"**  
Departamento de Estructuras  
Facultad de Ingeniería, UNAM
3. **"DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PRESFORZADO"**  
Editorial CECSA
4. **"REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO"**  
American Concrete Institute, IMCYC
5. **"APUNTES DE DISEÑO DE PUENTES"**  
Departamento de Estructuras  
Facultad de Ingeniería, UNAM
6. **"CONCRETO PRESFORZADO"**  
Khachaturian, Gurfinkel  
Editorial DIANA
7. **"CIMENTACIONES"**  
W. E. Schulze y K. Simmer  
Editorial Blume
- B. **"INGENIERIA DE CIMENTACIONES"**  
Ralph B. Peck, W. Hanson y Thornburn  
Editorial LIMUSA
9. **"EDIFICACION"**  
Díaz Infante Armando  
UNAM
10. **"MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES"**  
Sowers  
Editorial LIMUSA