

31  
28



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACION  
Y SUBESTRUCTURA DEL PUENTE AV. RIO  
CHURUBUSCO-AVS. UNIVERSIDAD Y COYOACAN”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
I N G E N I E R O C I V I L  
P R E S E N T A N :

FELIX AGUSTIN CASTAÑEDA ZEPEDA  
FRANCISCO RAMIREZ DIAZ



México, D. F.

1987.



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

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

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

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

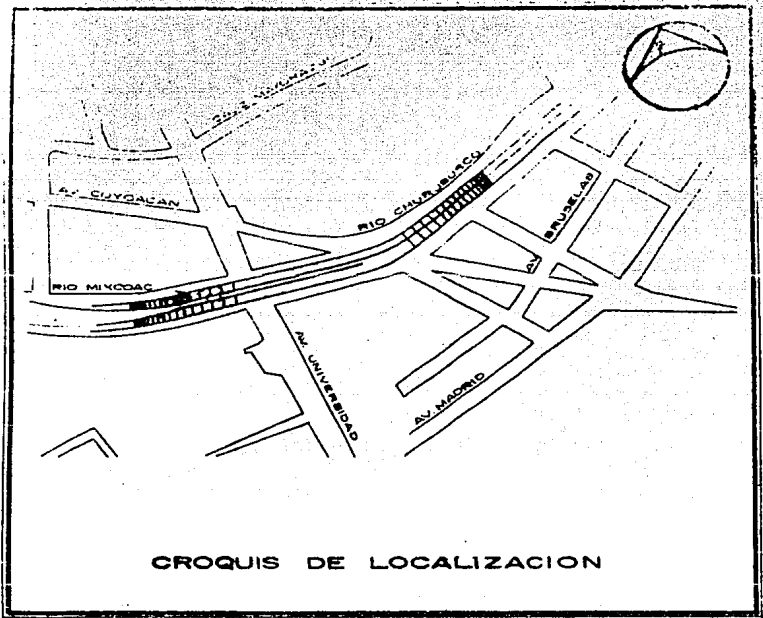
# T E S I S

---

## " PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACION Y SUBESTRUCTURA DEL PUENTE AVENIDA RIO CHURUBUSCO, AVENIDAS UNIVERSIDAD Y COYOACAN "

### T E M A R I O :

- I . . INTRODUCCION
- II . . DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO
- III. . PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACION
- IV . . PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA
- V . . FACTOR DE USO DE EQUIPO
- VI . . CONCLUSIONES



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

El desplazamiento masivo de la población rural a las grandes -- urbes en busca de mejores condiciones de vida, ha ocasionado un im -- presionante crecimiento demográfico en la Ciudad de México durante -- los últimos cuarenta años.

Ante tal situación, las autoridades del sector público se avoca -- ron a realizar los estudios necesarios para solucionar este proble -- ma.

El 15 de Diciembre de 1985, se expidió la Ley General de Asenta -- mientos Humanos. En apoyo a ésta se crea la Ley de Desarrollo Urba -- no del Distrito Federal, que incluye al Plan de Desarrollo Urbano -- del Distrito Federal.

Como parte constitutiva del Plan de Desarrollo Urbano está el -- Plan Rector de Vialidad y Transporte, el cual norma y reglamenta las -- metas y acciones encaminadas a optimizar la movilidad tanto de perso -- nas como de bienes, dentro de los límites del Distrito Federal. Es -- te plan constituye un esquema rector de desarrollo para la Red Vial -- y el sistema de transporte de la Ciudad de México, previendo el cre -- cimiento armónico por medio de la construcción, especialmente diseña

da de arterias viales que permitan una fluidez óptima para la comunicación local e inter - regional.

A fin de lograr una adecuada estructura vial se requiere de -- acuerdo con el plan, contar con una nueva Red Vial jerarquizada de -- la siguiente manera :

a). Vías de circulación continua para satisfacer la demanda de grandes volúmenes de tránsito de vehículos, conectadas a las principales penetraciones carreteras; dentro de esta categoría se encuentran :

- Vías Anulares :

- . Anillo Periférico
- . Circuito Interior

- Viaductos :

- . Miguel Alemán
- . Tlalpan

- Vías Radiales :

- . Ignacio Zaragoza
- . Aquiles Serdán
- . Río San Joaquín

- Puertas de Acceso :

- . De Toluca
- . De Cuernavaca
- . De Puebla
- . De Pachuca

b). Vías Primarias, que cruzan la Ciudad y reciben prioridad de circulación :

- Avenidas :

- . Insurgentes
- . Ejes Viales

c). Vías Secundarias, que conecten las diferentes áreas urbanas entre si.

d). Vías Locales, que sirven para tener acceso a las propiedades y fuentes de trabajo.

e). Vías y Zonas Peatonales.

Las dimensiones físicas que representa esta estructura vial, requiere de una programación para la asignación de recursos financieros y materiales conforme las necesidades prioritarias de construcción que se requieran.

De lo anterior, se mencionara al Puente Churubusco - Universidad como ejemplo de uno de los puntos más conflictivos del Circuito Interior. Este puente estará ubicado al Sur de la Ciudad, en el cruce de las Avenidas Universidad, Río Churubusco y el Eje 3 Poniente - Coyoacán. Las rampas del puente se proyectaron sobre Río Churubusco para cruzar en forma elevada las Avenidas Universidad y el Eje 3 Poniente Coyoacán.

En esta Tesis se describirá el procedimiento constructivo utilizado en el Puente Churubusco - Universidad; ( obra ubicada en la confluencia de varias avenidas de tránsito intenso ), analizando los problemas que se presentaron y la solución adoptada, tomando en cuenta que se debía conservar la continuidad en el suministro de servicios públicos y no afectar el tránsito; para lograr este objetivo - ( de dar continuidad y fluidez ), fué necesario efectuar una serie de afectaciones con el fin de tener libre la sección de proyecto para respetar los servicios especificados, ( dentro de las afectaciones necesarias a realizar, y como condición básica para lograr continuidad ), fué necesario darle una solución específica a las siguientes interferencias :

1.- Viales :

. Avenida Universidad

. Avenida Coyoacán



- . Río Churubusco
- . Eje 2 Poniente

2.- Aereas :

- . Cables de alta tensión
- . Cables de telmex

3.- Subterranas :

- . Instalaciones de telmex, de alumbrado público, colectores pluviales, cables de alta -- tensión de la compañía de luz y tuberías de agua potable.

## CAPITULO II

### DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

#### II.1.- OBJETIVO DE LA OBRA.

En el cruce de la avenida Río Churubusco con las avenidas Coyoacán y Universidad se crea un conflicto de tránsito, debido a que esta parte del Circuito Interior es la Vía que utilizan los camiones de carga para movilizarse de oriente a poniente en la Zona Sur (principalmente los que van hacia la central de abastos), Ermita Iztapalapa y a Zaragoza, para tomar la salida a Puebla en el oriente; para el periférico y sus posibles salidas hacia Toluca o Querétaro en el poniente.

La avenida Coyoacán es el principio del Eje 2 poniente que es una importante avenida de desahogo para el tránsito de vehículos paralela a Insurgentes y el Eje central que tienen sentido de sur a norte.

La avenida Universidad es importante por su trazo en diagonal y que minimiza el tiempo de recorrido entre San Angel y el Centro de la ciudad. El tráfico en esta avenida se redujo por la construcción de la línea 3 del metro. Con la construcción del puente se pretende :

1.- Ofrecer una opción vial para descongestionar el tránsito - de vías existentes.

2.- Comunicar el origen-destino de la mayor cantidad de viajes persona en la forma mas directa, con reducción de tiempo y distancia. Para poder cumplir con los objetivos anteriores de acuerdo con la estructura que se habia pensado, fué necesario efectuar estudios viales, proyectos geométricos, estudios de mecánica de suelos, de estructuras, una planeación de construcción, un análisis de precios unitarios y de costos, complementando todo esto con experiencias obtenidas en otras arterias viales, logrando como consecuencia una - disminución máxima de costos y tiempo de construcción.

## II.2.- GENERALIDADES DEL PROYECTO.

La estructura del puente Churubusco - Universidad tiene un desarrollo total de 700 M., es de concreto reforzado y presforzado, - en su tramo principal y en sus gasas, cuenta con 17 claros cuya longitud entre apoyos varia entre 25 y 30 metros.

Las vigas en la superestructura forman parte de un sistema trabelosa, con apoyos fijos y libres de neopreno, sus dimensiones varian según correspondan a las gasas o al eje principal.

La sección transversal de la superestructura esta constituida por seis vigas que se rigidizan con diafragmas de acero transversales a estas y la losa ( fig. II.1). Las vigas se apoyan en los cabezales, para esto cuentan con mensulas en sus extremos ( ver fig. II.2), que trabajan basicamente a efecto de cortante.

Todas las traves de la superestructura se colaron y se postensaron en la obra.

Las pilas tienen una sección arquitectónica del tipo "V", de concreto reforzado; en la parte posterior tienen un cabezal que permite recibir a las traves mediante apoyos de neopreno ( fig. II.3).

La cimentación de las pilas consiste en zapatas aisladas desplantadas a 2.5 m. del nivel de la superficie del terreno sobre pilotes de fricción hincados a una profundidad que varia entre 16.5 y 19 metros ( fig. II.3 ).

Los accesos al puente se logran mediante dos elementos estructurales : un terraplen y un estribo ( ver fig. II.4).

El terraplen de acceso es el primero de los desniveles partiendo del suelo hacia la estructura, esta formado a base de tepetate compactado entre muros de retención de concreto reforzado con dre -

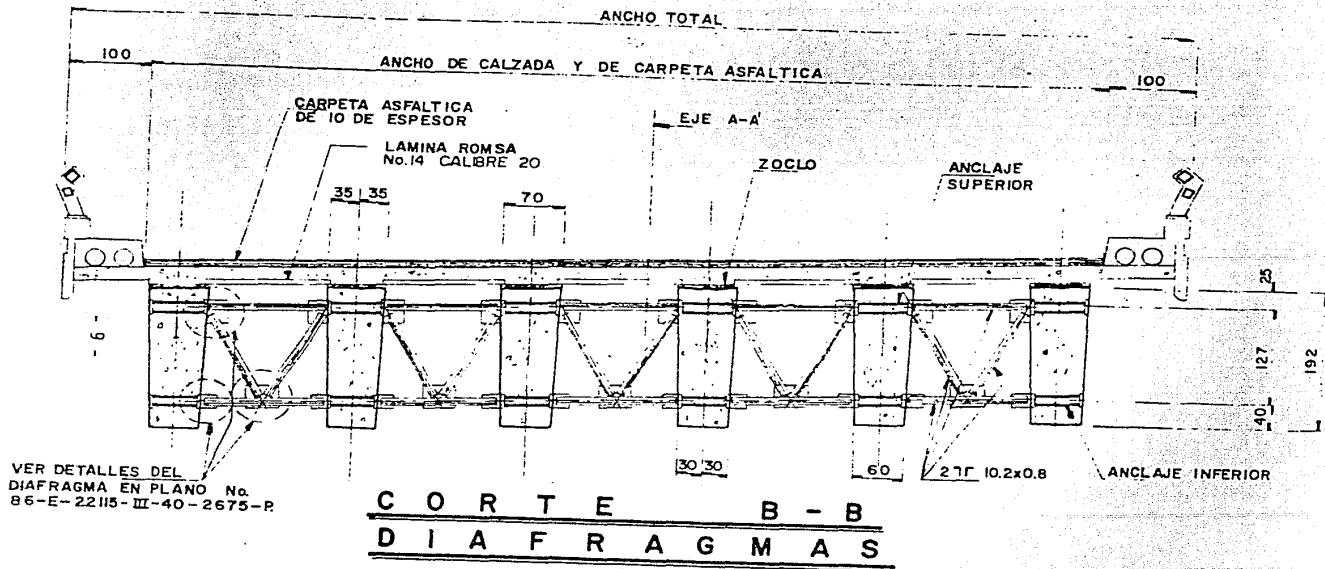
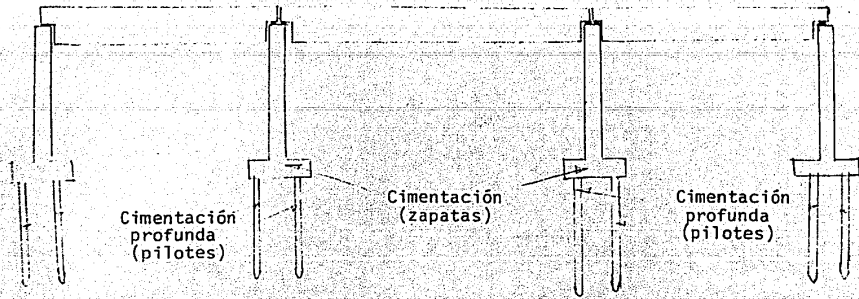


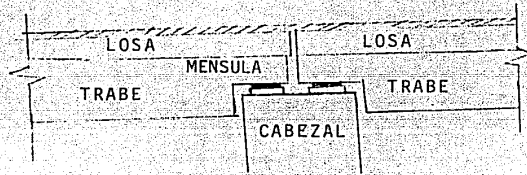
FIG. II. I

FIG. 11.2



- 10 -

CROQUIS DEL SISTEMA DE VIGAS



DETALLE DE APOYO DE TRABES

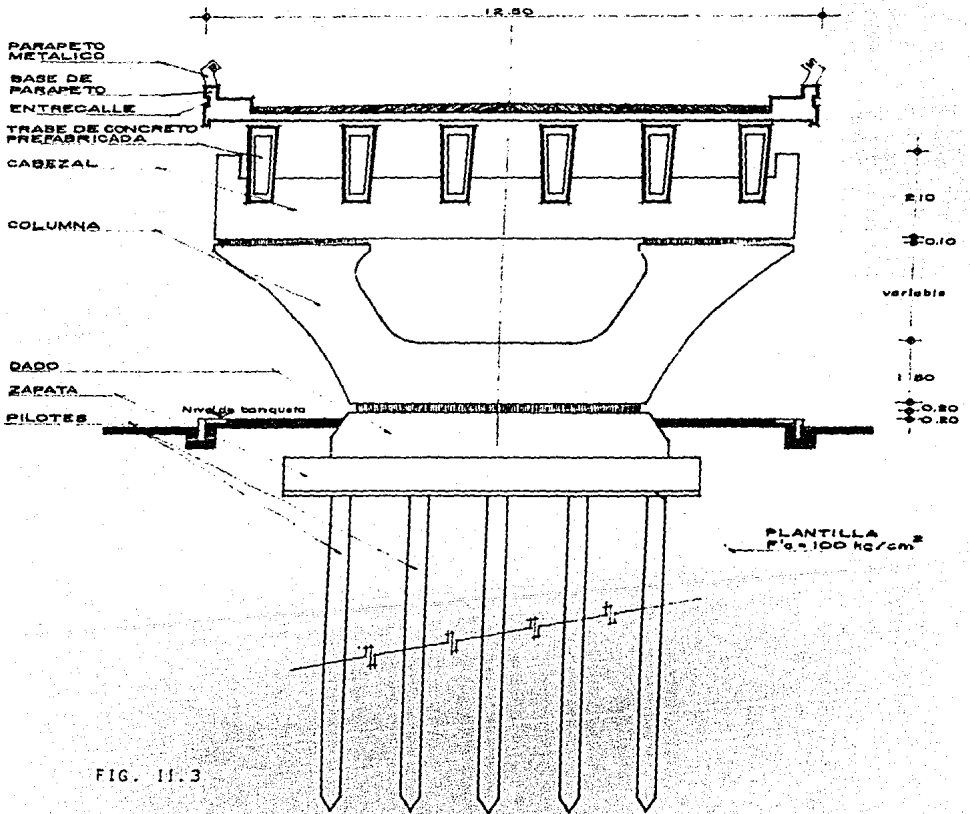
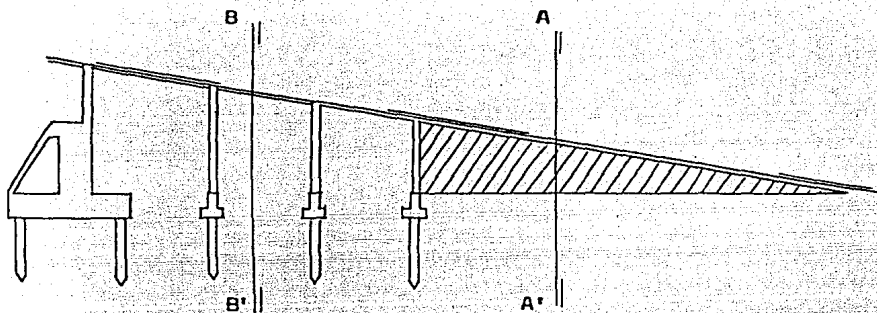


FIG. II.3



TERRAPLEN DE ACCESO Y ESTRIBO

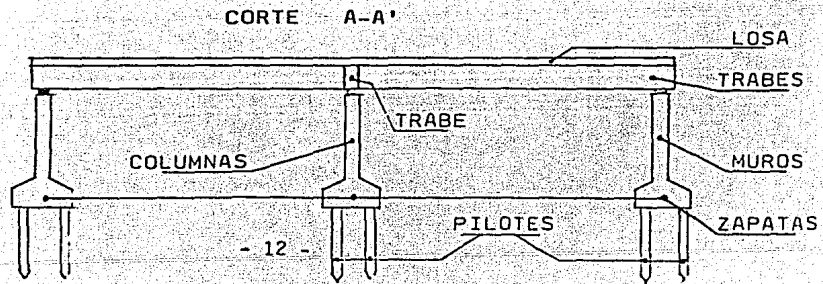
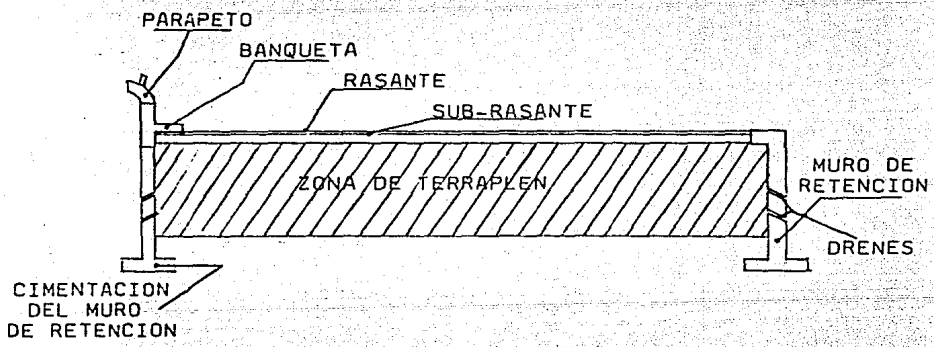


FIG. II.4

ESTRIBO

CORTE B-B'



nes transversales.

El estribo es una zona de transición entre la estructura de -- tierra descrita anteriormente y la superestructura, es una estructura hueca constituida por un sistema trabe-losa que forma la subrasante, la cual se apoya sobre columnas cuya cimentación consta de pilotes de fricción anclados en zapatas que están ligadas con contratra-bes. Se complementa la estructura con muros laterales que tienen de base una zapata corrida perimetral ( Ver siguiente Fig. ).

### II.3.- CONDICIONES DE SERVICIO.

El puente esta diseñado previendo una acumulación de carga viva de acuerdo con los factores de diseño de este tipo de estructuras, considerando que este total o parcialmente saturado.

Para el diseño de la estructura en una región sísmica como México, se tomaron en cuenta las siguientes condiciones de carga :

Cargas muertas : Peso propio de la estructura como lo es la losa del puente, trabes, cabezales, columnas, dados, zapatas, etc.,

Cargas vivas : Peso de los usuarios que principalmente son vehículos automotores como trailers, camiones, automóviles, peatones.

Para carga viva se considera un camión TRS-33, que consta de una caja de 9.5 toneladas de carga máxima por eje, que tiene poco tiempo de usarse en México, aproximadamente 5 años. El efecto adicional de impacto que se generará al momento en que se frena o se arranca el camión, es decir, cuando el vehículo tiene una aceleración o una desaceleración, tienen una magnitud menor que el 30% de la carga máxima de la carga viva.

Cargas accidentales : Viento y sismo. En este caso la estructura no es afectada por los efectos del viento sino del sismo y para el diseño se consideran las siguientes combinaciones :

a). Combinación de carga muerta + carga viva máxima.

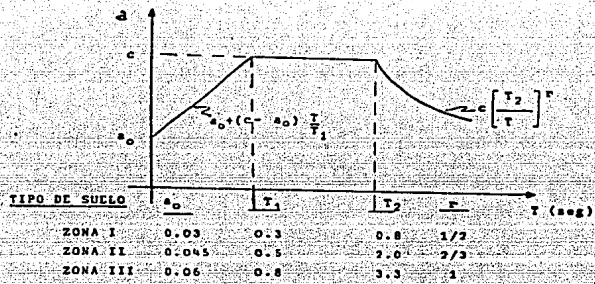
b). Combinación de carga muerta + carga viva de servicio + sismo.

De ambas se elige la mas desfavorable. El puente Churubusco -- Universidad es una estructura que se diseña en forma similar a cualquier otra.

#### II.4.- EFECTOS SISMICOS EN LA ESTRUCTURA.

Para el diseño contra sismos de las estructuras el reglamento - para construcciones en el Distrito Federal recomienda utilizar el espectro de diseño que se muestra en la ( Fig. II.5 ), que es una envolvente de las aceleraciones que se han manifestado en los diferentes sismos en esta ciudad y que se han registrado.

Este espectro considera una aceleración superior a la que se tenía en el reglamento de 1977. El valor que pueda llegar a tener la



ZONA	c
I (Terreno firme)	0.16
II (Terreno de transición)	0.20
III (terreno compresible)	0.26

FIGURA II.5 ESPECTRO DE DISEÑO PARA EL D. F.

aceleración será distinto dependiendo de si es un terreno firme de transición o compresible, por lo que el reglamento lo afecta con el llamado coeficiente sísmico ( c ). El coeficiente sísmico se define como el cociente entre la fuerza cortante en la base de la estructura y el peso de la misma, incluyendo la carga viva especificada en el reglamento.

En el reglamento de 1977, los valores del coeficiente sísmico varían entre 0.16 y 0.24, el cual se afecta por un factor de ductilidad ( Q ).

El concepto de fuerza del sismo proviene de la 2a. Ley de Newton :

$$F_s = \frac{c}{q} = W$$

Haciendo la comparación con  $F = ma$ ,  $\frac{c}{q} = a$  y el peso  $W = m a$  ( m ).

La ductilidad es la capacidad de los elementos para absorber -- energía de deformación básicamente, y depende de las características de estructuración.

En el reglamento que se tenía antes del sismo de septiembre de 1985, el factor de ductilidad Q variaba desde 1 ( estructura muy frã

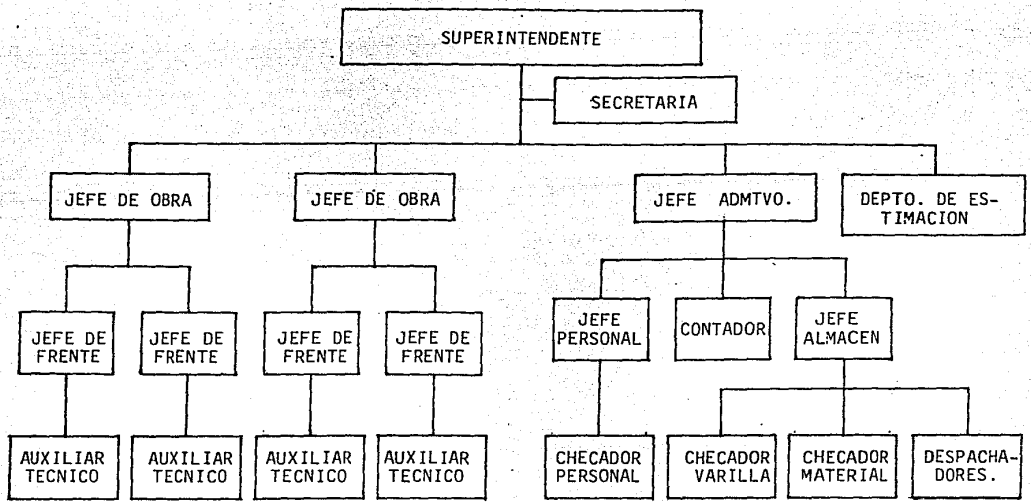
gil o con tendencia frágil, poca ductilidad), hasta 6 (estructura -- muy ductil, con gran capacidad de deformación). Los muros son es -- estructuras con  $Q = 1$ , son muy rígidos y fallan rápidamente al empezar a deformarse.

En el nuevo reglamento que se hizo después de septiembre de --- 1985, el factor de ductilidad se redujo a 4 en el caso de estructura muy ductil. Esto implica que la fuerza sísmica se divide entre 4 y aumenta 1.5 veces lo que antes se diseñaba con  $Q = 6$ , por otro lado el coeficiente sísmico se incrementa en la zona de terreno compresible de 0.24 a 0.4 ó 0.46.

El diseño del puente Churubusco - Universidad se hizo con especificaciones del AASHTO (American Association of State Highway and --- Transportation Officials), considerando los coeficientes sísmicos de las normas de emergencia, así como con ciertos factores adicionales para darle un margen de seguridad mayor previendo un evento como el ocurrido en septiembre de 1985.

## II.5.- ORGANIZACION.

Del lado poniente de la zona de obra, se localizan las casetas donde se aloja al personal técnico y administrativo, cuentan con instalaciones provisionales de agua potable, drenaje, luz y teléfono. - Se tiene también la facilidad de utilizar una computadora personal, - donde se puede actualizar avances de obra, llevar control del almacén, flujos de caja y nóminas. El personal que se encuentra laborando se describe en el organigrama.



## II.6.- PROGRAMACION.

En algunos casos el dueño de la obra marca el programa pidiendo la obra para un fecha determinada. Tal es el caso del puente Churubusco - Universidad en el que fue fijado el tiempo de ejecución de la obra por el departamento del Distrito Federal, una vez conocido esto y teniendo el proyecto, la constructora realizo el programa de obra determinado los recursos que se requieren como son : maquinaria y equipo, materiales, los técnicos y todo el personal de campo.

En la programación de la obra se tomaron en cuenta dos aspectos fundamentales :

- 1.- El procedimiento constructivo que marca el proyecto.
- 2.- Dar continuidad al tránsito de vehículos.

Inicialmente se hizo un programa de obra de 24 meses, pero posteriormente hubo dos modificaciones debido a que el departamento del Distrito Federal anticipo en dos ocasiones la fecha de terminación de obra.



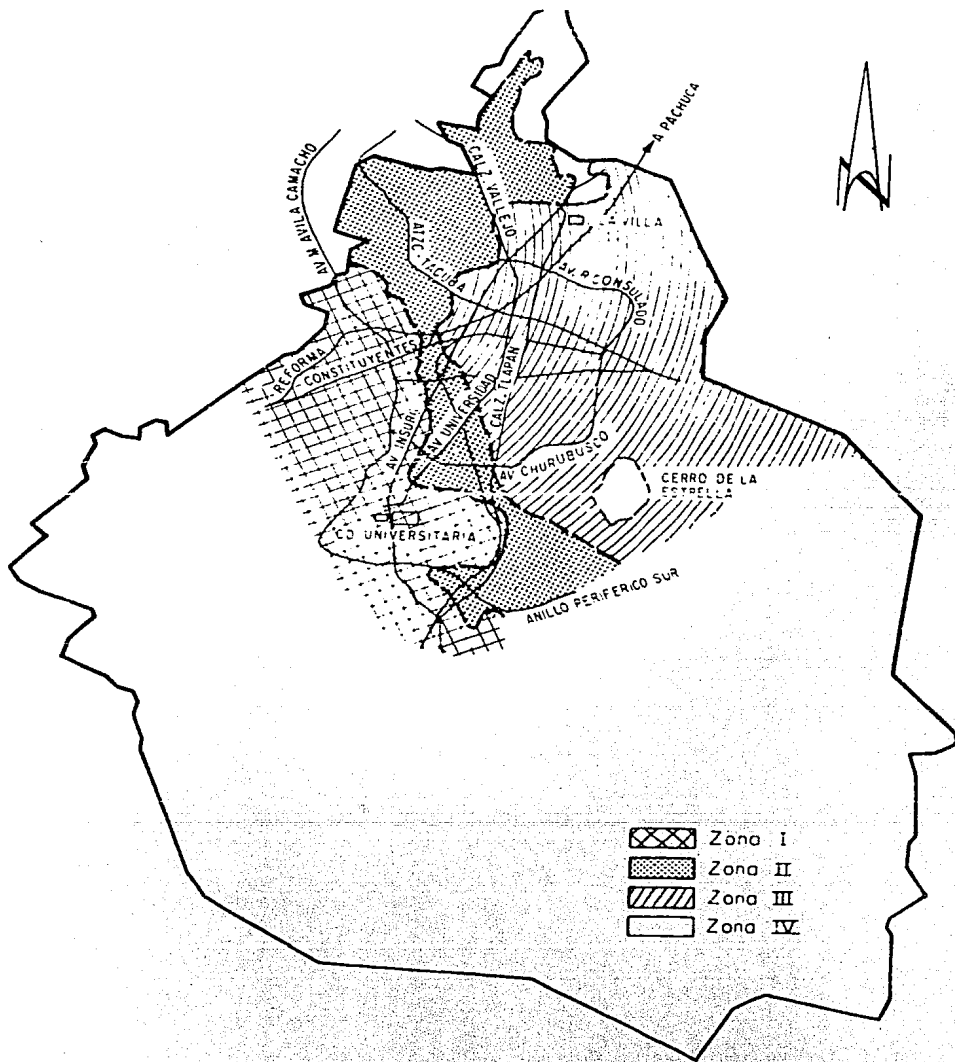
## CAPITULO III

### PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACION

#### CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO.

En el subsuelo del Valle de México, se tiene permanentemente el efecto de hundimientos en la zona del lago, que se deben principalmente a la extracción de agua para el consumo de la población. La zona en donde se ubica el puente ( ver Fig. III.1 ), comprende la transición del suelo de roca basáltica del Pedregal de San Angel hacia la del lago, en donde la profundidad del primer estrato de suelo resistente se encuentra entre los 16 y 20 m.

Los hundimientos diferenciales que se tienen en ese tipo de suelo, compuesto por arcilla en mayor porcentaje que otras partículas, provocan una redistribución de los elementos mecánicos como momentos y cortantes. Las estructuras continuas tienen una rigidez lineal, que hace que un momento se incremente, si un apoyo sufre un hundimiento. Esta rigidez en los apoyos se elimina si se usa una articulación en ellos, de tal manera que las vigas continuas se convierten en articuladas y/o simplemente apoyadas, isostaticas y si se producen hundimientos diferenciales se elimina el incremento de elementos mecánicos.



La cimentación y subestructura son elementos que sirven esencialmente para transmitir las cargas vivas y muertas de cualquier estructura al subsuelo, sin que existan grandes deformaciones que pongan en peligro la estabilidad de la misma. Finalmente, para definir la cimentación del puente se determinaron :

a).- La capacidad de carga del suelo.- Zona de capas de arcilla medianamente compresible con gran cantidad de humedad ( N.A.F. - varia de 3.8 a 7.25 m., de profundidad ), con hundimiento de 3 a 5 cm por año y estratos resistentes hasta 20 m.

b).- Peso propio de la superestructura.- Tramos de 20 y 30 m.- de longitud entre claros.

c).- Cargas vivas.- Tránsito de vehículos de gran peso.

## TIPOS DE CIMENTACION

### CIMENTACIONES SUPERFICIALES.

Cuando la profundidad de cimentación no es mayor que dos veces el ancho del cimiento, se dice en la ingeniería práctica que se trata de cimentación superficial.

Los tipos más frecuentes de cimentación superficial son las zapatas aisladas, las zapatas corridas y las losas de cimentación.

Zapata aislada es un agrandamiento de la columna para reducir la presión del suelo a la máxima admisible. En ocasiones las zapatas aisladas soportan más de una columna, generalmente se construyen de concreto reforzado.

La zapata corrida es un elemento parecido a las anteriores, -- con la diferencia que la longitud supera mucho al ancho. Esto se debe a que en ocasiones el terreno ofrece baja resistencia a la compresión y es necesario aumentar el área para repartir la carga.

Las losas de cimentación se deben a que la resistencia del terreno es muy baja, las cargas son muy altas o que las columnas se encuentran muy juntas, obligando a utilizar una gran área de apoyo.

pudiendo ocupar toda la superficie construída. Cuando el área de cimentación requerida es del 50% o más del área total del suelo de apoyo de la estructura, resulta conveniente este tipo de solución.

#### CIMENTACIONES PROFUNDAS

Un tipo de cimentación profunda son los pilotes, que son barras largas cuya sección se considera que varía entre 30 y 60 cm., y que transmiten carga de la estructura a estratos más resistentes del sub suelo.

Las pilas son similares a los pilotes, pero de diámetro mayor a un metro hasta llegar a cilindros de cimentación con diámetros superiores a los tres metros.

Normalmente se fabrican de concreto reforzado estas cimentaciones por ser más resistentes a la corrosión.

Las cimentaciones superficiales y profundas pueden combinarse para lograr mayor estabilidad y economía en las estructuras. Algunos ejemplos son los cajones de cimentación o cimentación compensada y la combinación de zapatas o losas de cimentación con pilotes -- ( Fig. III.2 ).

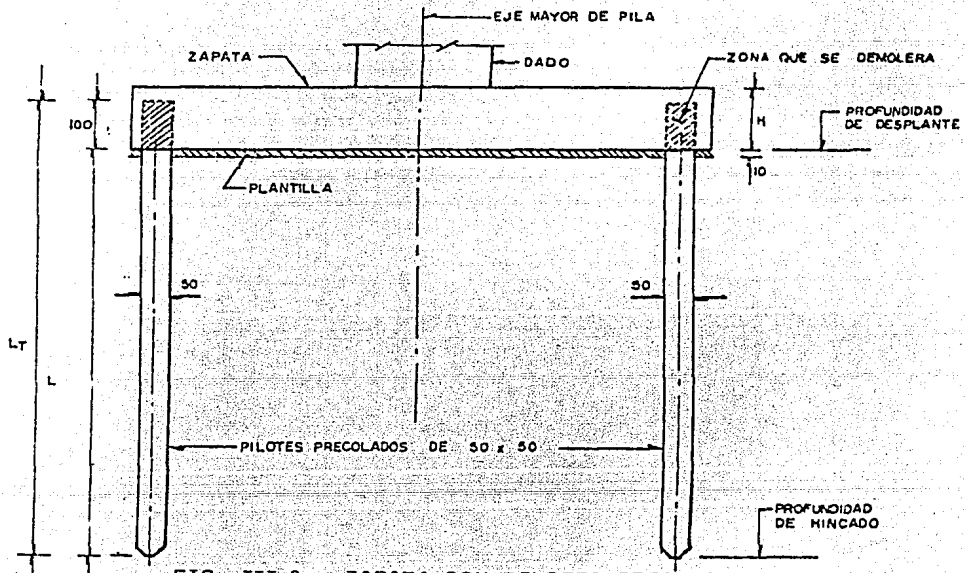


FIG. III-2 ZAPATA CON PILOTES PRECOLADOS

Capacidad de carga de un pilote de fricción.

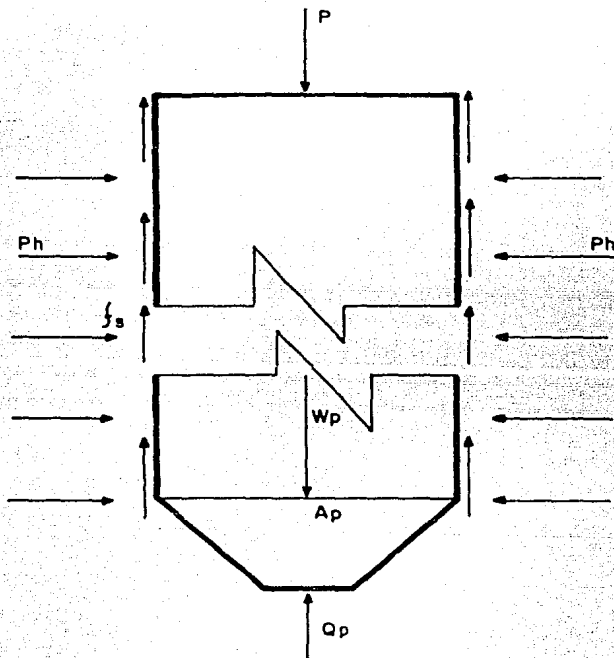


FIG. III. 3 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE UN PILOTE

Se debe cumplir que :

$$P + W_p = F_s A_s + Q_p$$

Donde  $F_s A_s$  corresponde a la capacidad de carga por fricción lateral del pilote.

La capacidad de carga para pilotes de 50 x 50 cm., según proyecto es de 74.5 ton/pilote.

La carga de proyecto en el cruce del Río Churubusco y Avenida - Universidad, es de 55.8 ton/pilote.

Por lo anterior se llegó a la conclusión de que se colocarían pilotes de fricción de sección cuadrada hincados a percusión, que -- tienen la capacidad de carga suficiente por fricción lateral en sus caras. Si el subsuelo sufre un asentamiento, el pilote se hunde con él.

La zapata es el elemento de unión entre los dados y la cimentación profunda, tiene que ser lo suficientemente resistente para ---- transmitir la carga de las columnas a los pilotes que se encuentran en el área de la misma y si existe alguna otra carga que produzca momentos o incremente la carga axial que no sea la de servicio o accidental, la transmita directamente al suelo dando mayor estabilidad - a la estructura.

Los pilotes se revisan por flexión para que soporten su peso -- propio al ser izados y por compresión para soportar el impacto del - martillo al ser hincados. Las zapatas se revisan por flexión, cor-- tante y por penetración.



## INTERFERENCIA Y DESVIACIONES.

La interferencia más notable en la cimentación, es la presencia del Río Churubusco, que es un colector de 2.44 m. de diámetro que corre a lo largo del eje longitudinal del puente y obliga a la separación de las dos rampas A-A' y B-B' que lo componen.

En la cimentación de las pilas del Eje 5 tanto en la rampa -- A-A' como en B-B', se localiza un registro donde se unen los caudales del Río Churubusco y el Río La Magdalena. Debido a la información imprecisa de los sondeos de mecánica de suelos, se modifica la cimentación de ésta zapata, aumentando sus dimensiones y el número de pilotes.

Después de la unión de los dos Ríos, el diámetro del colector aumenta a 3.5 m.

Se mencionan a continuación las instalaciones y obras diversas que interfieren en la construcción del puente.

### 1.- Líneas secundarias de agua potable.

Instalación

Interferencia con:

Tubería A.P. 12" Ø

La cimentación de las columnas

Instalación

Tubería A.P. 6" Ø

17, 16, 15, 14, 13, 12, de la -  
rampa B-B'.

Estribo 19, columnas 18, 17, 16  
15, 12, 11, 10, 9, 13, 8, 7 y 5  
de la rampa A-A'

Interferencia con :

Columnas 11 de la rampa B-B' y -  
12 de la rampa A-A'

2.- Atargeas

Instalación

Colector 60 cm. Ø

Atarjea 38 cm. Ø

Interferencia con :

Columna 6 de la rampa A-A'

Columnas 12, 11, 10, 9, 8 y 6 -  
de la rampa A-A' y la 6 de la -  
rampa B-B'

3.- Cables de alta tensión.

Instalación

Líneas de 6 K.V. y 23 K.V.

Línea de 6 K.V.

Interferencia con :

Columnas 11 y 12 de la rampa --  
B-B' y 12 y 13 de la rampa A-A'

Columna 6 de las rampas A-A' y -  
B-B'

#### 4.- Cables telefónicos

Instalación

Interferencia con :

Lineas telefónicas

Columnas 4, 5, 6 y 12 de la -  
rampa B-B' y 4, 5, 6, 7 y 13-  
de la rampa A-A'

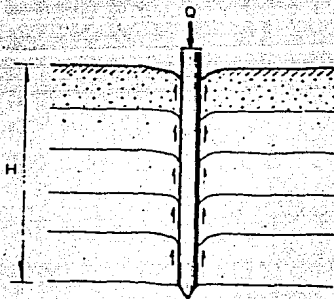
5.- Tránsito.- Para efecto de cimentación y construcción de la subestructura, no existió la necesidad de interferir el flujo de --- vehículos en Av. Universidad y Av. Coyoacán. En el caso de la construcción de la rampa A'A, el tránsito de Río Churubusco de poniente- a oriente, si fué bloqueado y desviado por el eje 8 sur y 1 poniente. El tránsito de el eje 3 poniente que va de norte a sur es desviado por el eje 8 sur y 1 poniente.

6.- Afectaciones a predios.- La única afectación no vial se -- realizó en la acera sur que se ubica sobre Río Churubusco, entre -- Av. Universidad y Av. Coyoacán. En el nuevo alineamiento se afectó a un sólo predio perteneciente a una agencia automotriz.

#### PILOTES

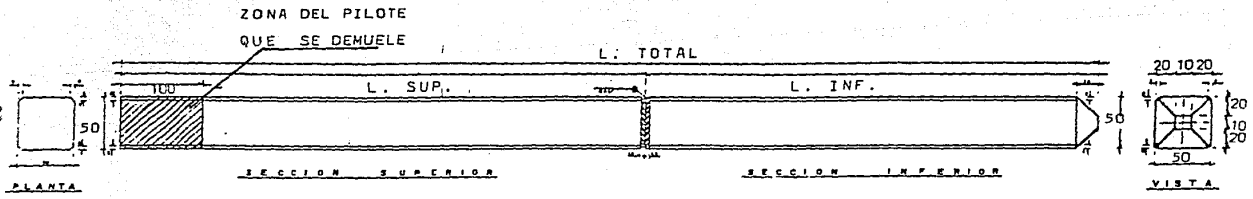
Se utilizaron pilotes de fricción ( Fig.III.4 ), de concreto - reforzado, prefabricados de sección transversal cuadrada de 50 por- 50 cm. en las pilas y de 40 por 40 cm. en los estribos cuya longi

tud varia de 19 a 16.5 metros, se fabricaron en dos secciones, la inferior o punta del pilote, con una longitud de 10.00 m., y la seccion superior, cuya longitud se hizo variable, dependiendo de las especificaciones dadas en los planos para cada caso ( Fig. III 5 ).



PILOTE DE FRICCIÓN

FIG. III.4



ELEVACION PILOTES

FIG. III.5

Según su procedimiento constructivo, se utilizó la técnica de pilotes con poco desplazamiento, dado que se hincaron en una perforación previa de menor área que la del pilote mismo, perforación que sirve de gufa al pilote, evita movimientos excesivos en la masa del suelo adyacente ( Fig. III.6 ).

Se utilizó esta técnica porque ha tenido buenos resultados -- todos en suelos arcillosos blandos, sensitivos y con alto contenido de agua, como los encontrados en la zona de construcción del -- Puente Churubusco - Universidad.

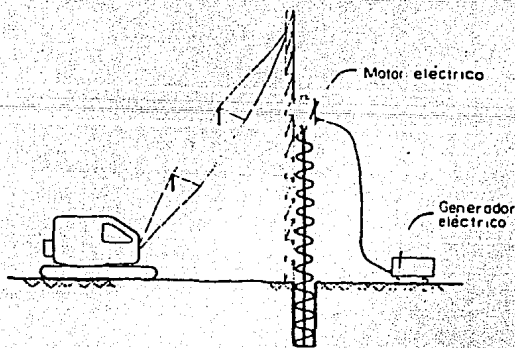


FIG. III.6 PERFORACION PREVIA AL HINCADO

La perforación se hizo moldeando el material del subsuelo-energicamente mediante rotación dentro de la misma sin extraerlo, utilizando una broca espiral, estabilizándolo con todo formado por el mismo suelo arcilloso mezclando con agua, además, como el número de pilotes por hincar era alto, la suma de sus desplazamientos-podía provocar el levantamiento del terreno, con el consiguiente -arrastre de los pilotes previamente hincados.

#### EQUIPO

a) PERFORADORA : Máquina utilizada para hacer los barrenos en el subsuelo, por medio de una barra en cuyo extremo inferior se coloca una broca espiral (herramienta de avance) ; ( Fig. III.6 ).

b) GRUA : Máquina utilizada para el levantamiento y manejo de los pilotes, que cuenta con un sistema de malacates que accionan a uno o varios cables montados sobre una pluma y un sistema de patescas, cuyos extremos terminan en gancho ( Fig. III.7 ).

Para el hincado se utilizó una grúa Link Belt modelo LS 108 B con capacidad para 45 toneladas y un peso de 38.4 toneladas montada sobre orugas, con plumas rígidas de 60 pies de largo; para las-maniobras de auxilio al hincado se empleó una grúa de menor capaci-dad, otra Link Belt modelo LS 98, de 27 toneladas de capacidad y - un peso de 27.7 toneladas.

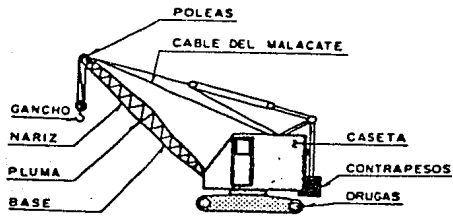


Fig. III.7 GRUA MOVIL MONTADA SOBRE ORUGAS

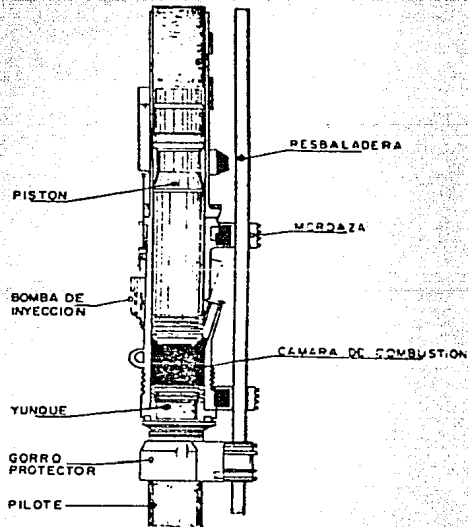


FIG. III.8 MARTILLO DIESEL



c) MARTILLO : Equipo que genera impactos en serie para el hincado de pilotes. Se utilizó un martillo diesel Delmag D22-13, cuyo ciclo de operación se inicia con la caída libre de un pistón guiado dentro de un cilindro que al comprimir el aire en el interior de la cámara de combustión produce el encendido y explosión súbita del diesel previamente inyectado. La explosión y el impacto de la masa que golpea provocan la penetración del pilote en el terreno y la expansión de los gases quemados impulsa al pistón hacia arriba y así sucesivamente ( Fig. III.8 ).

#### FABRICACION DE LOS PILOTES.

1) Preparación de camas de colado.-Para el apoyo y fijación de los moldes para la fabricación de pilotes se construyeron plataformas de concreto de 10 cm. de espesor coladas sobre una base de tepetate compactado.

2) Moldes.- Para darle la sección cuadrada a los pilotes, se usaron unos moldes que recibían el concreto, formados a base de tableros modulares de madera. El ciclo de fabricación se realizó de tal manera que fuera posible usar los mismo pilotes ya colados en una primera fase como cimbra de los siguientes. De igual forma, se usaron los lechos de pilotes ya construídos como camas de colado de los siguientes ( Fig. III.9 ). Antes de proceder al colado-

se colocaba un recubrimiento en la superficie de contacto de la --  
 cimbra para facilitar su despegue, el cual fué a base de diesel en  
 el caso de la cimbra de madera y de polietileno en el de concreto.

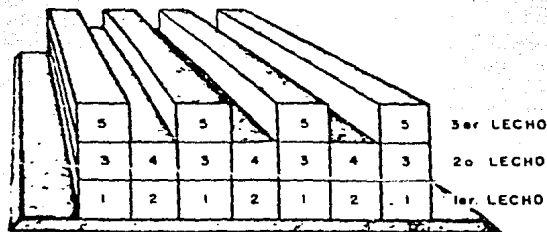


Fig. III.9 SECUENCIA DE COLADO DE PILOTES DE SECCION CUADRADA.

3) Acero de refuerzo.- Se colocó conforme el proyecto, al llegar a la obra se entongaba y se protegía contra la oxidación antes del colado del concreto, ya que de otra manera se podría limitar su adherencia con el concreto. Su límite de fluencia  $f_y = 4,000$  kg/cm<sup>2</sup>.

4) Concreto.- Se utilizó cemento portland tipo I (normal), -- con una resistencia  $f'c = 200$  kg/cm<sup>2</sup>. y un tamaño máximo de agregado grueso de 3/4".

5) Juntas de unión.- Se utilizó la técnica de soldadura a filete durante el hincado, de dos placas previamente fijadas a ambos tramos del pilote de acero A-36 con  $f_y = 2530 \text{ k2/cm2.}$ , en su proceso de fabricación ( Fig. III.10 ).



Fig. III.10 JUNTA SOLDADA

6) Manejo y almacenamiento temporal.- Para el despegue, transporte y almacenaje de los pilotes, se prepararon dos puntos a lo largo de cada sección, estructuralmente apropiados para esas maniobras, de manera de reducir al mínimo el peligro de fracturas. Los puntos de izaje estaban constituidos por "orejas" de varilla, fijados previamente al acero de refuerzo quedando ahogadas en el concreto ( Fig. III.11 ).

La ubicación de los puntos de izaje y el manejo y estibamiento de los pilotes se muestra en la ( Fig. III.12 ).

La resistencia del concreto en el momento en que los pilotes se despegaban de la cama de colado debía ser cuando menos del 70% de la especificada.

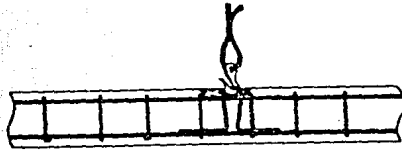


Fig. III.11 PUNTO DE IZAJE

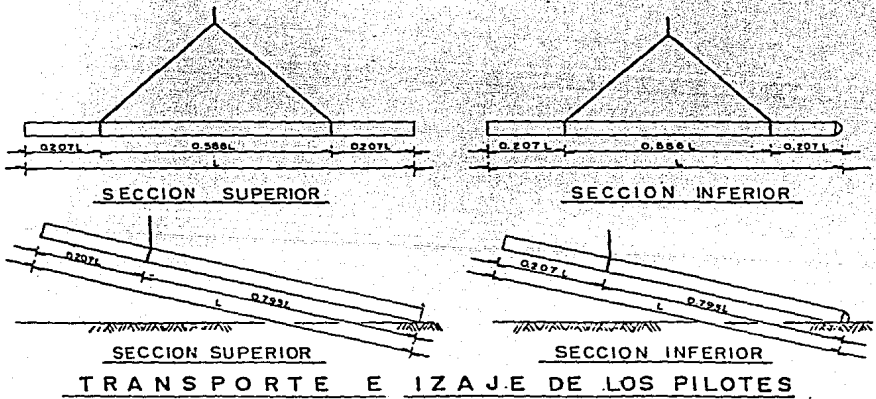


FIGURA III.12

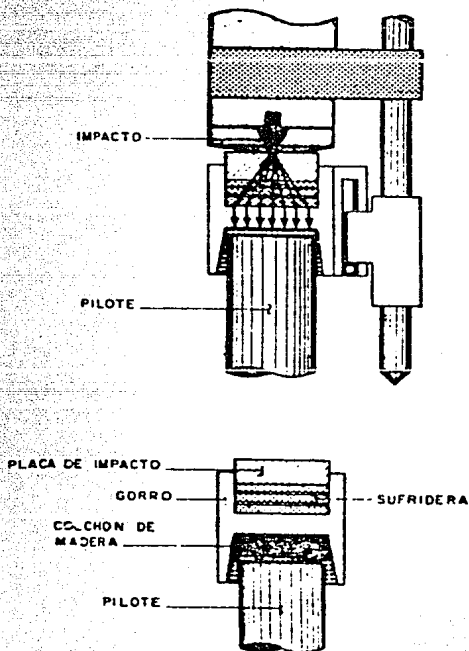
## SECUENCIAS DE HINCADO.

Después del despegue y transporte de los pilotes de las camas de colado al lugar de hincado, el proyectista dió las recomendaciones siguientes para el hincado.

- Colocar marcas con una separación de 1.0 m. a todo lo largo del pilote con el fin de determinar con facilidad el número de golpes necesarios para cada metro de hincado.
- Izar el pilote manejándolo con un estrobo apoyado en el punto correcto para evitarle fracturas ( Fig. III.12 ).
- Colocarlo en la perforación previa de acuerdo a los planos constructivos.
- Orientar las caras del pilote.
- Acoplar el gorro del martillo piloteador a la cabeza del pilote ( Fig. III.13 ).
- Colocar en posición perfectamente vertical, tanto el pilote como la resbaladera del martillo, corrigiendo la posi -

si3n de la gru3 hasta lograrlo ( Fig. III.14 ).

- Iniciar el hincado propiamente del pilote, accionando el disparador del martillo, hasta llegar a la profundidad de des -- plante o rebote indicado por las especificaciones.



FI. III.13 GORRO DE PROTECCION

El número de pilotes hincados por zapata dependía de las cargas transmitidas por la superestructura en cada uno de sus tramos, respetando el orden especificado de hincar primero los pilotes centrales y posteriormente los de la periferia, empezando en cualquier esquina y continuando con el mismo sentido de giro para no interferir con los trabajos que seguían al hincado.

Todo el proceso constructivo de los pilotes se observa en la ( Fig. III.15 ).

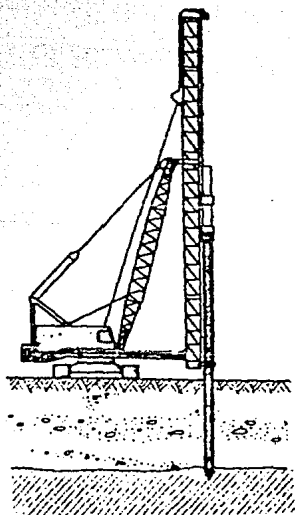


FIG. III.14 PILOTE HINCADO VERTICAL

# PROCESO CONSTRUCTIVO

- 44 -

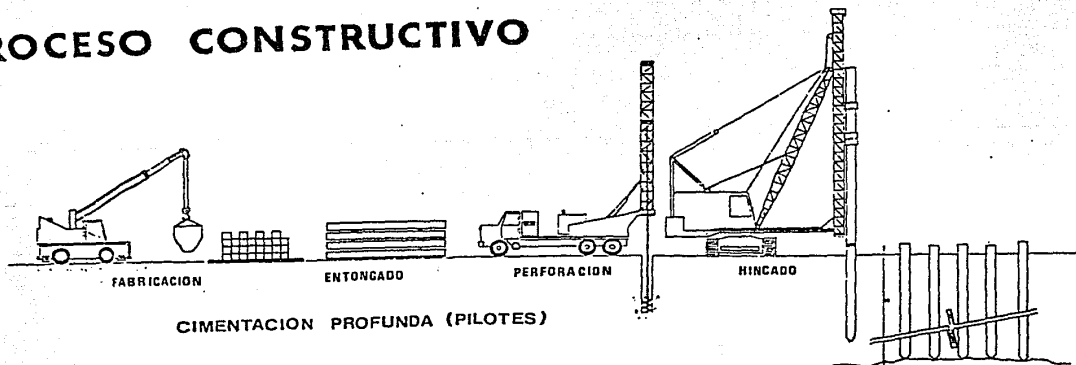


FIGURA III.15

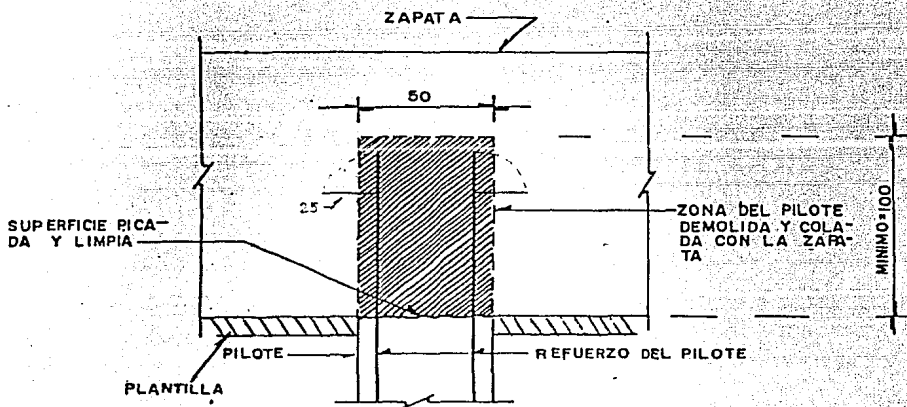


## ZAPATAS Y DADOS.

Una vez hincados los pilotes correspondientes a cada zapata y habiendo renivelado y compactado el terreno, se inició la excavación a cielo abierto para desplantar las zapatas, limitándola con taludes verticales y con un ancho en el fondo aproximadamente 1m.

La excavación se hizo en una sola etapa hasta el nivel de desplante de la zapata y se domolió la cabeza de los pilotes, dejando una longitud de 30 cm. mínimo antes de llegar a la profundidad de desplante; por especificación no deben transcurrir más de 12 hrs., entre el momento en que se alcanza la máxima profundidad de excavación y el colado de una plantilla de concreto simple de 10 cm. de espesor y resistencia mínima de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ . El colado de la plantilla se hizo antes de demoler la cabeza de los pilotes --- ( Fig. III.16 ).

Una vez que se hubieron dejado libres las varillas de refuerzo de los pilotes se les hace un dobléz de anclaje y se procede a colocar el acero de refuerzo de la zapata, ligándolo con el de los pilotes. Hecha esta continuidad se dejaron las preparaciones necesarias para el anclaje del acero de refuerzo del dado y las colum-



## UNION TIPICA ENTRE PILOTES Y ZAPATAS

FIG. III.16

nas, para efectuar después el cimbrado y colado de la zapata -----  
( Fig. III.18 ).

Cada zapata es aislada para cada rampa excepto en el estribo -  
1 y ejes 2 y 3 de pilas y sus dimensiones dependen del cálculo de -  
los pilotes en las pilas y las cargas que deban sostener.

Una vez que el concreto en las zapatas obtiene la resistencia-  
de proyecto ( 250 kg/cm<sup>2</sup>. ), se descimbra rellorando la excava --  
ción con tepetate compactándolo. En ese momento también es posi -  
ble colocar el acero de refuerzo faltante en los dados, cimbrarlos-  
y colarlos, dejando ahogada la base del refuerzo para las columnas.

#### CONTRATRABES.

Las contratrabes se utilizaron en la cimentación de los estri-  
bos, su procedimiento constructivo es similar al de las zapatas, --  
por lo que aquí se dará lo más relevante de ello.

Ya hincados los pilotes, se hizo una excavación para el des --  
plante de las contratrabes, abarcando una línea de pilotes, se co-  
ló una plantilla de concreto simple de 10 cm. de espesor y resisten-  
cia mínima de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ ., se demolió la cabeza de los pi-

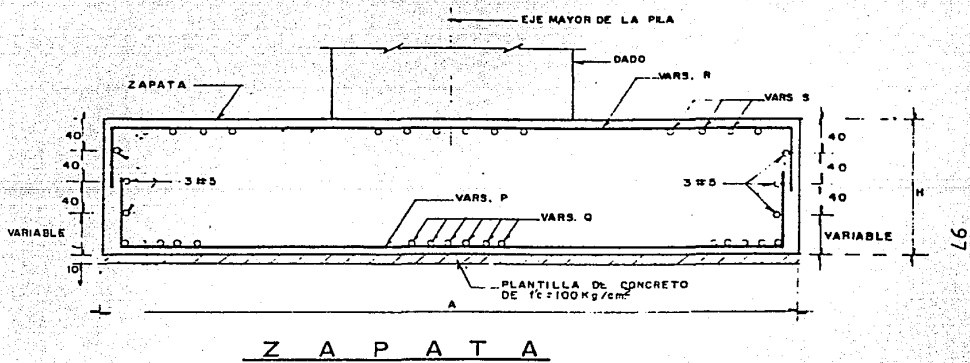


FIG. III.18

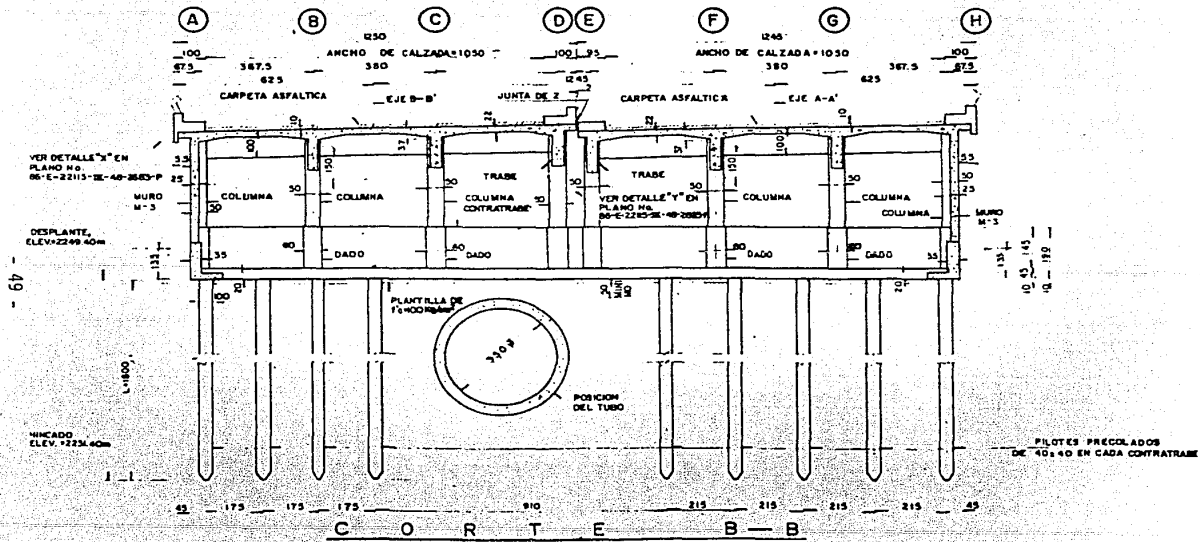
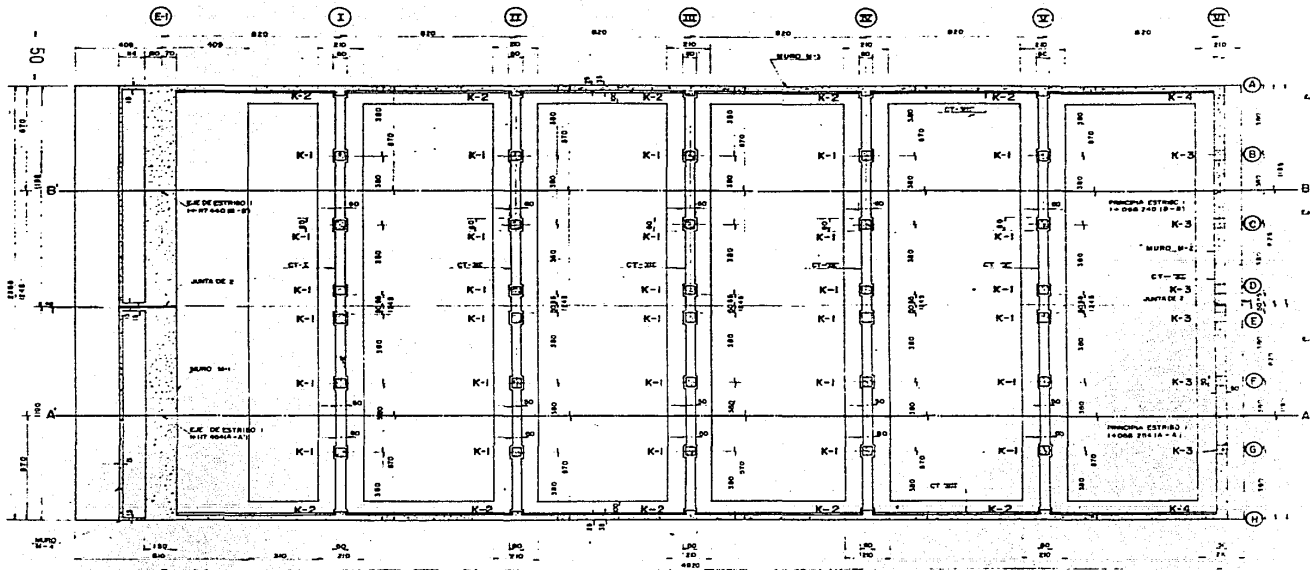


FIG. III.19



PLANTA DE LA CIMENTACION

FIG. III.20

lotes, se colocó el acero de refuerzo, se cimbró y coló el concreto de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ . en el cual se dejó ahogado el refuerzo de las columnas ( Fig. III. 19 ).

En ocasiones se ligan contratraves por medio de traves transversales a ellas para proporcionar mayor rigidez.

## CAPITULO IV

### PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA

#### IV.1.- DADOS Y COLUMNAS.

Los dados son elementos muy importantes en la subestructura por la posición en que se encuentran, motivo por el que se diseñan sobre reforzados ( Fig. IV.1 ), sus funciones en la subestructura son las siguientes : absorber los elementos mecánicos ( carga axial y momento flexionante ), que se van a presentar en el nivel inferior de la pila, es decir, en el vertice que forman las dos columnas; transmitir estos elementos mecánicos a la zapata; y dar un confinamiento -- por los dobleses de varillas que se tiene en esta sección de la pila ( Fig. IV.2 ).

La mayor parte de las pilas que soportan a la superestructura son de sección de tipo "V" ( Fig. IV.3 ), y otras son de sección frontal llena ( Fig. IV.4 ), siguiendo con la tendencia arquitectónica de todos los puentes del circuito interior.

El proceso constructivo fué el siguiente : Se colocaba el acero de refuerzo principal de los dados amarrandolo en el acero de refuerzo de la zapata, se colaba la zapata y se procedia a colocar el resto del acero de refuerzo del dado, al mismo tiempo se colocaban las varillas del refuerzo longitudinal de la pila correspondiente, una



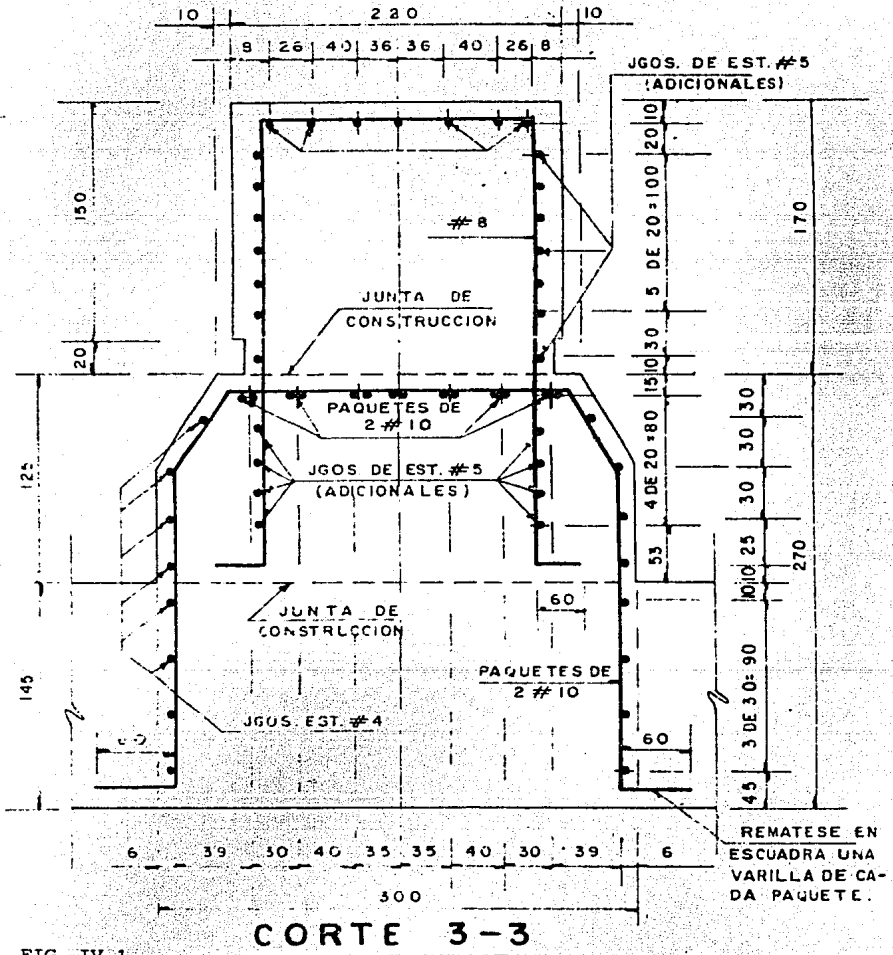


FIG. IV-1



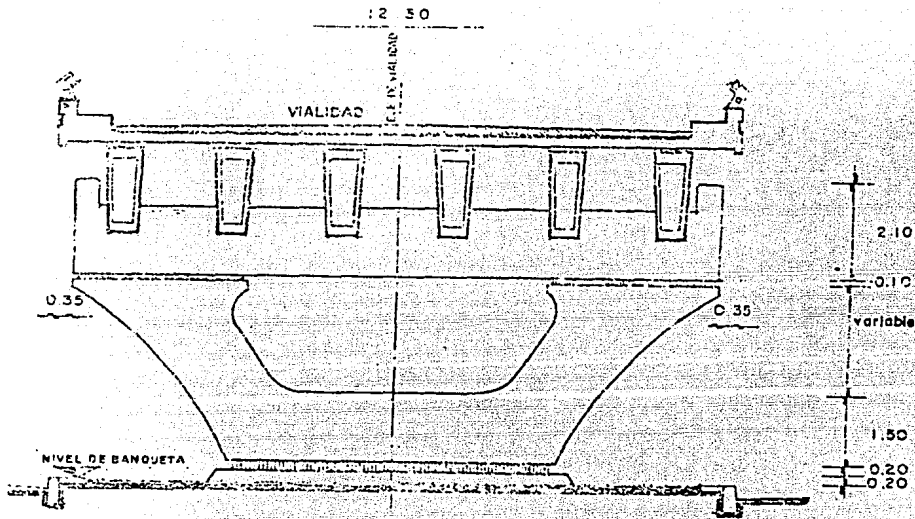


FIG. IV.3  
VISTA FRONTAL.

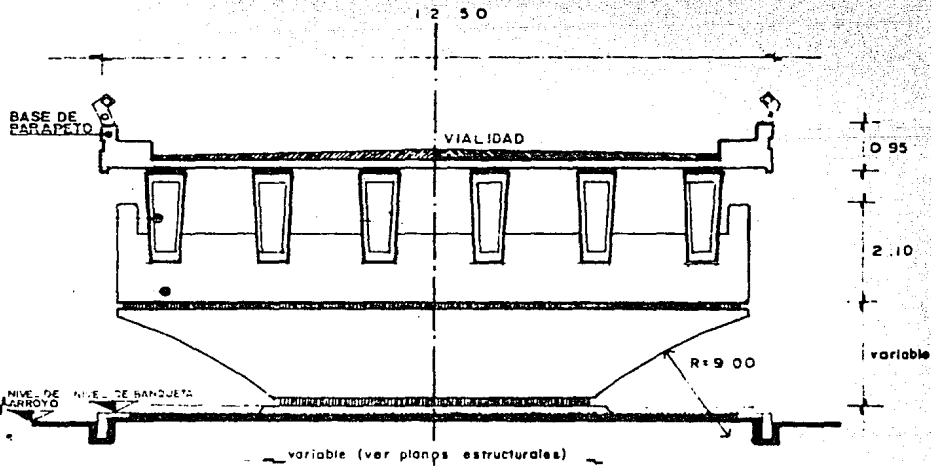


FIG. IV.4  
VISTA FRONTAL.

loca la cimbra y se colaba el dado, lo cual fué facil ya que las --  
ollas podian descargar el concreto directamente en el dado por el --  
nivel en que se encuentra. Como cimbra se usaron hojas de triplay-  
de 1/2" reforzada con barrotes de madera de 1" X 3" y se troquelaba  
con torsales de alambre recocido para soportar el empuje del concre-  
to. Colocado el dado, se procedia a colocar los juegos de estribos  
y todo el armado de la pila, posteriormente se coloco la cimbra. --  
En los costados y en la parte central de la pila se uso una cimbra-  
especial de madera para darle la curvatura que indicaba el proyecto  
( Fig. IV.3 ), en los costados se usaron hojas de triplay de 3/4" -  
de espesor con curvatura de radio igual a 9m., y se sostenia con an-  
damios tubulares y polines de madera, y para la parte central se --  
utilizo duela de triplay de 3/4" de espesor con curvatura de radio-  
igual a 0.8 m. En las partes anterior y posterior de la pila se --  
usaron hojas de triplay de 3/4" reforzadas con barrotes de madera -  
de 1" X 3", y para soportar el empuje del concreto se troquelaban -  
con moños de 1.7 m. de longitud. Toda esta cimbra llevaba un recu-  
brimiento de fibra de vidrio, laca y encima plastico para darle el  
acabado aparente llamado "espejo" que exigia el proyecto arquitecto-  
nico.

Después de colocada la cimbra se colaba la pila bombeando el -  
concreto hasta el nivel donde quedaria apoyado el cabezal correspon-  
diente, al concreto se le aplico un aditivo fluidizante para que pu-  
diera ser bombeado facilmente y para evitar oquedades en el concreto

ya fraguado obteniendo así el acabado mencionado anteriormente.

Todo el concreto que se usó en el colado de dados y columnas se vibró con vibradores de 1 1/2" de calibre.

#### IV.2.- CONCEPTOS DE PRESFUERZO ACERO DE REFUERZO.

Las trabes de concreto reforzado en claros grandes tienen el inconveniente del alto valor que presenta su peso muerto, aunque puede tener un efecto benéfico en claros cortos para reducir las vibraciones en la estructura.

Mediante el empleo de acero de presfuerzo se puede aumentar el claro máximo en elementos de concreto reforzado, esto es porque el concreto presfuerzo permite tener elementos de menor peralte y mayor ligereza que los elementos de concreto común, al mismo tiempo permite un mejor aprovechamiento mecánico de la viga; con este tipo de estructuras se han logrado tener claros más de 70 m., y se han realizado proyectos para 260 m., en competencia con puentes de vigas de acero de alma llena.

Con el concreto presfuerzo : Combinado con la prefabricación se puede lograr una mayor economía al poder controlar en mejores condiciones las altas resistencias del concreto. Para los cla

ros pequeños es usual prefabricar y presforzar las vigas en taller y de allí trasladarlas al lugar de montaje, pero para claros grandes como los que se tienen en el puente Churubusco - Universidad - ( de 20 a 30 m.), no es posible transportar las vigas por el espacio que ocupan, por su peso y por su longitud, por lo que se optó por colar las vigas en sitio.

Concepto de presfuerzo : Para explicar mas claramente el concepto de presfuerzo, se verá desde el punto de vista del análisis-diseño de una estructura de concreto reforzado; cuando se tiene una viga simplemente apoyada y se le aplica una carga uniforme se produce un momento, si se analiza con cualquier criterio, plástico o elástico, se encontrará un eje neutro dentro de la sección transversal, que es aquél en el cual los esfuerzos son iguales a cero, -nulos, pero el momento genera una tensión y una compresión, en la sección transversal se observa que en algunas zonas se generan tensiones con una distribución triangular, si es elastica y lineal, y en otras, compresiones con la misma distribución donde se producirá un momento como se indica en la ( fig.IV.5 ).

Con el acero de refuerzo se le da capacidad a la viga para tomar la tensión y con el concreto la compresión, puesto que el concreto no tiene capacidad para tomar tensiones.

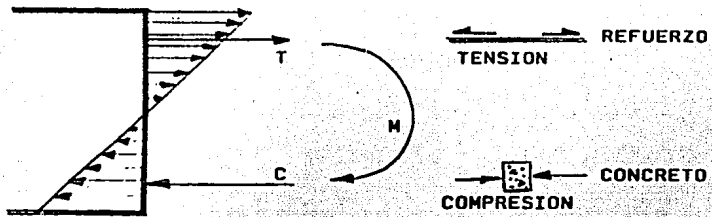


FIGURA IV.5

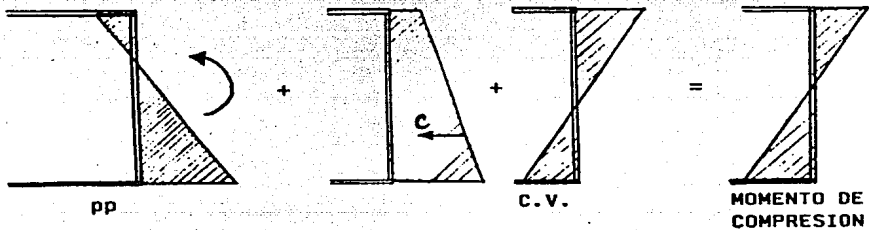


FIGURA IV.6.

Para el diseño se desprecia totalmente la sección de concreto que está en tensión, obteniendo una mezcla de concreto reforzado, con lo que se forma un par o momento resistente que tiene que ser igual o mayor que el momento actuante, para que el diseño sea el adecuado.

Si se analiza la sección transversal de una viga de 50 m. de largo por 2m. de peralte, se observa que al aplicarle carga o con su peso propio se generan grandes esfuerzos de tensión y esfuerzos de compresión muy pequeños, se siente de inmediato que la viga va a fallar por efectos de tensión básicamente. También se tienen efectos de aplastamiento muy importantes; aquí es donde entra el presfuerzo, que es una inducción de una fuerza de compresión en un punto de la sección donde es conveniente comprimirla, es una precompresión.

La distribución de esfuerzos en cualquier sección de la viga, producida por la suma de los efectos de :

- + peso propio ( P.P. ).
- + precompresión, que es el presfuerzo ( c )
- + carga viva ( C.V. ).

debe tener ciertas características de equilibrio y de límite de valores que permitan que la estructura se comporte adecuadamente ( fig.IV.6 ).



La precompresión o presfuerzo se logra con cables de alta resistencia que se colocan en el elemento de concreto, los cuales se tensan por medio de gatos hidráulicos. Una vez que alcanzan la fuerza de tensión de proyecto, quedan anclados en los extremos de dicho elemento mediante unos dispositivos de anclaje. De esta manera los cables transmiten esfuerzos de compresión a lo largo del elemento de concreto.

Existen dos tipos de presfuerzo que son : Pretensado y postensado, la diferencia principal entre estos es que el pretensado es el tensado de los cables antes de colar el concreto y el postensado es el tensado de los cables después de que el concreto haya alcanzado su resistencia de diseño, consiste básicamente en dejar ductos en una determinada trayectoria en los cuales se colocan los cables de presfuerzo, y cuando el concreto adquiere dicha resistencia se realiza el postensado, es decir, se tensan los cables previamente colocados y se aseguran con los botones extremos para que al soltarlos se queden tensos y el botón les ayude a transmitir los esfuerzos de compresión en las zonas del elemento prevista en el diseño, es decir, en las zonas donde se va a tener mayor tensión. En una viga simplemente apoyada ocurre al centro del claro, donde se tiene una mayor excentricidad de la fuerza. Si el presfuerzo está en el eje neutro solo se genera una compresión y si ese eje neutro coincide con el centroidal, se tiene un esfuerzo de compresión igual-

a  $P/A$  ( Fig. IV.7 ); si la fuerza de presfuerzo se mueve, se empieza a generar un momento por que hay una excentricidad, este momento produce compresiones y tensiones como se muestra en la ( Fig. IV.8 b ), esto demuestra que se pueden controlar las tensiones y compresiones jugando con la posición de la resultante de compresión ( Ver Fig. IV 9 ).

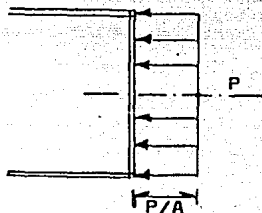


FIGURA IV.7

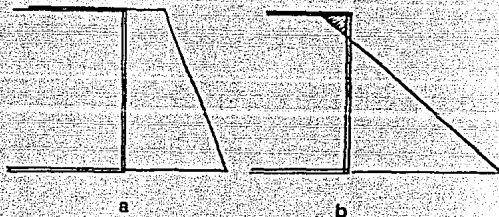
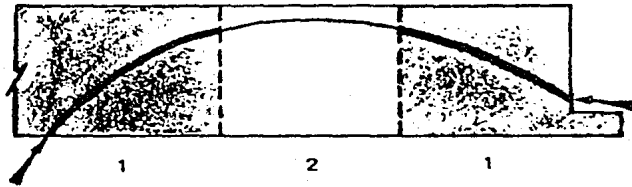


FIGURA IV.8

Tanto el pretensado como el postensado tienen un sistema de fijación a la estructura que consta de una placa con un hueco por el que pasan los cables en la parte exterior y en el interior, es una especie de botella o embudo que permite que se fijen en el concreto ( Fig. IV.10 ); lo que se llama botón o anclaje es una pieza que amarra a los cables de presfuerzo y que produce un efecto de compresión que se transmite al concreto.

En el puente Churubusco - Universidad, se utilizó el postensado y en el anclaje se usaron los sistemas BBRV principalmente y el



Zona 1: Cable engrasado o entubado

Zona 2: Zona de transmisión de la fuerza

FIGURA IV.9

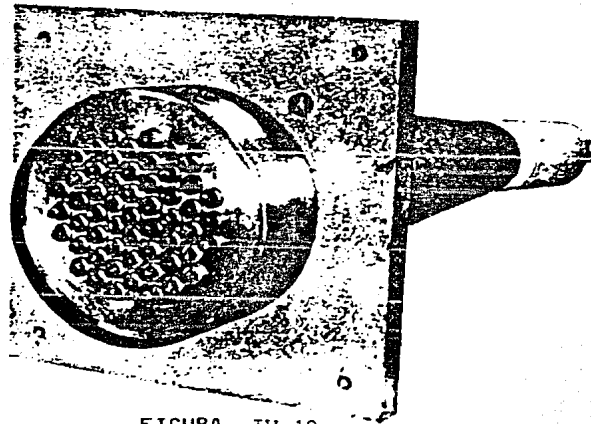


FIGURA IV.10

FREYSSINET. La diferencia entre ambos sistemas es el tipo de anclaje, en el primero se utiliza cable de 7m.m., y en el segundo de --- 1/2 ".

#### IV.3.- CABEZALES.

Los cabezales son los elementos de la subestructura en los que se apoya la superestructura, es decir que transmiten las cargas que recibe la superestructura y el peso propio de esta a las columnas - estos elementos son vigas de concreto reforzado, y por las condiciones de servicio a que van a estar sometidas requieren de presfuerzo para tener la capacidad suficiente para resistir dichas condiciones de servicio ( Fig.IV.12 ).

Los elementos de apoyo de la superestructura en los cabezales son de neopreno, van colocados sobre unos bancos de concreto empujados 2 cm. en el cabezal, como se puede observar en las ( Fig. -- IV.11y IV.12 ).

El neopreno ( sandwich ) es un elemento formado por varias capas intercaladas de neopreno y láminas de acero adheridas mediante el proceso de fabricación conocido como vulcanización.

El número de placas y láminas depende de si el apoyo es fijo -

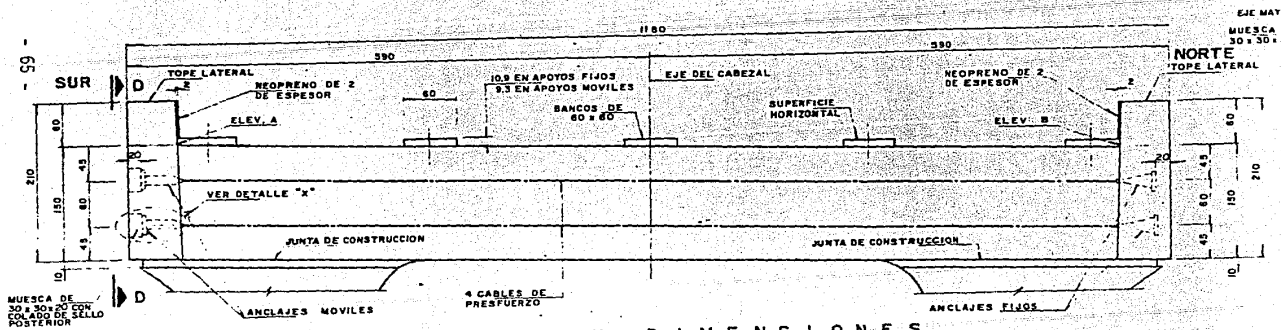


FIG. IV.11

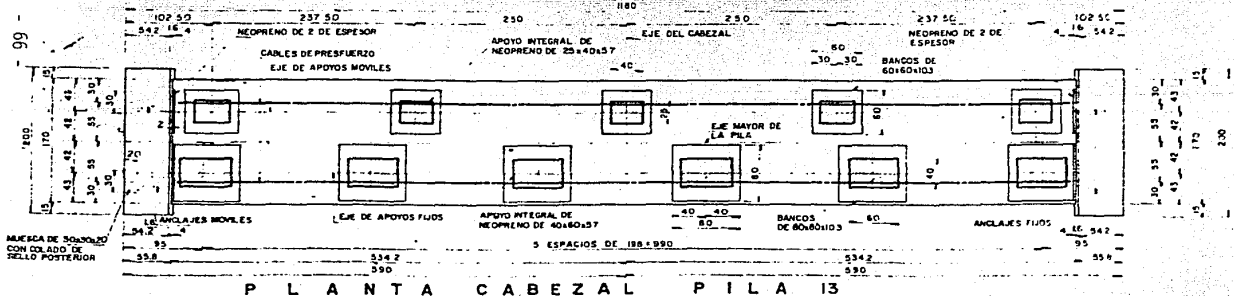


FIG. IV. 12

o móvil, o sea de las dimensiones del neopreno en sí, como apoyo -- y de la intensidad de peso que vaya a recibir ( Fig.IV.13 c ).

Las especificaciones de calidad que deben cumplir dichas pla-- cas y las láminas separadoras de acero, así como las característi-- cas mecánicas que debe cumplir el apoyo y las tolerancias geométri-- cas, se pueden ver en las especificaciones generales que se mues-- tran en la ( Fig.IV.13 ).

El proceso constructivo fue el siguientes : Después de decim-- brar la columna, se colocaba la cimbra de fondo de los cabezales -- que se sostenían con andamios tubulares y polines de madera, des -- pués se procedía a colocar el acero de refuerzo y los ductos para el presfuerzo. Una vez hecho esto se colocaba la cimbra de los cos-- tados del cabezal y posteriormente se colaba. Para esto se limpio-- primero perfectamente el lecho superior de las columnas, aplicando-- después un aditivo adherente, al igual que en las pilas se le agre-- go aditivo fluidizante al concreto, para cimbrar los cabezales se -- utilizaron hojas de triplay de 3/4" de espesor troquelada con torsa-- les de alambre recocido.

A los anclajes de presfuerzo se les hizo una preparación en -- donde se colocó tubo poliducto que al colar el cabezal quedaría par-- cialmente expuesto, sirviendo entonces para llevar a cabo el proce--

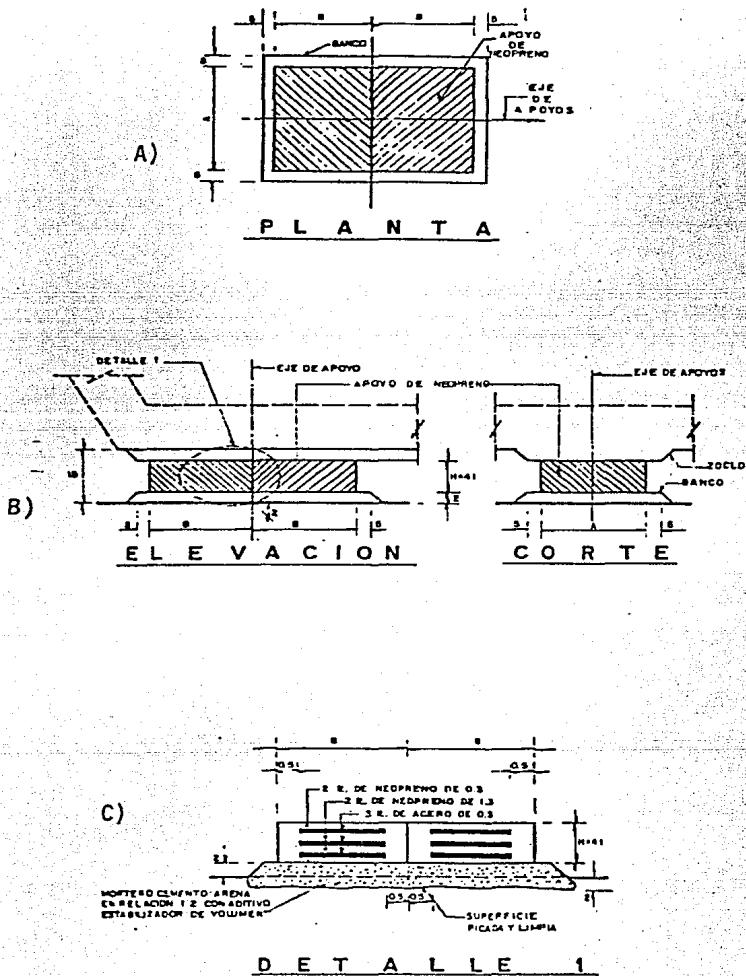


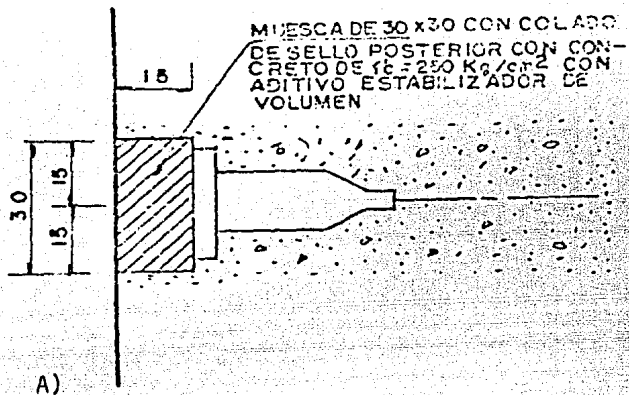
FIG. IV. 13



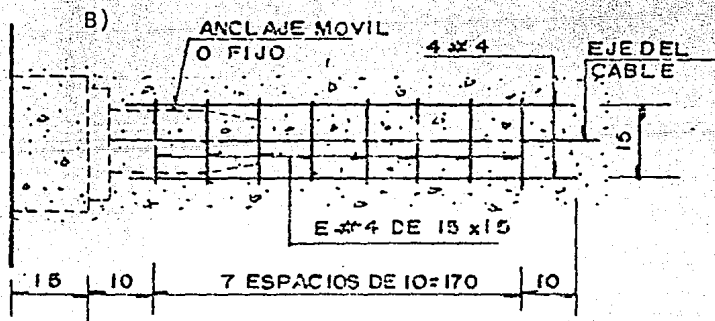
so de inyectado de mortero en los cables de presfuerzo.

En los cabezales existen dos tipos de anclaje para el acero de presfuerzo, el anclaje fijo y el anclaje móvil. El primero se dejó ahogado en el cabezal y es el que fija los cables de presfuerzo en ese extremo; cuando se alcanzaba la resistencia de proyecto en el concreto del cabezal, se tensaban los cables por el lado del anclaje móvil, al que todavía se tenía acceso por la uña de ese lado, -- que aún no se colaba ( Fig.IV.15 a ). El tensado se hacía con ayuda de gatos hidráulicos hasta la tensión especificada en el proyecto, colocando después cuñas de acero de "media caña" entre la placa y el tejo del anclaje, para mantener la deformación de los cables con la tensión especificada. Solo se permitía un deslizamiento de 5 mm. al anclar. Ya que se tensó el acero de presfuerzo, se arma la uña del extremo donde se encuentra el anclaje móvil, cimbrandola y colandose con concreto de 250 Kg/cm<sup>2</sup>., de resistencia con aditivo estabilizador de volumen ( Fig.IV.15 b ).

Los ductos se inyectaron inmediatamente después del tensado y anclado de los cables con lechada de agua-cemento de relación de -- 0.38 a 0.45, con aditivo estabilizador de volumen, con una presión de 8 a 10 Kg/cm<sup>2</sup>., verificando que la lechada llenará totalmente -- los ductos en toda su longitud.



DETALLE "X"  
ANCLAJE MOVIL



REFUERZO TIPICO  
EN ANCLAJES FIJOS  
Y MOVILES

## CAPITULO V

### FACTOR DE USO DE EQUIPO

En las obras de Ingeniería Civil la economía esta muy influenciada por la rapidez con que se ejecuten, y en general los costos se abaten en función directa de la rapidez, pero en ciertos casos, el ritmo de construcción exige una gran concentración de equipo, no siempre balanceado que implica un notorio aumento en los costos de ciertos conceptos de trabajo.

Durante el proceso constructivo del puente Churubusco - Universidad se observa que existe en forma constante, lo que conocemos como equipo ocioso, lo cual afecta en forma directa el costo de la obra. Lo anterior implica que se tenga que efectuar una planeación con la cual se busca tener un balance optimo del equipo, procurando reducir al mínimo los tiempos ociosos del mismo, para esto deberán estudiarse múltiples posibilidades de ejecución, previendo las eventualidades y circunstancias que puedan llegar a presentarse.

Se llamara equipo balanceado a todo aquel que se apegue a las siguientes recomendaciones :

1. Será equipo balanceado, aquel que haya sido seleccionado en función de un programa, y que resulte capaz de cumplir con los pla -

zos estipulados por el mismo previendo incluso causas de fuerza mayor.

2. Será equipo balanceado, aquel en el que todas y cada una de las maquinas que trabajen en un frente de trabajo se apoyan mutuamente, reduciendo al mínimo sus interferencias, tiempos ociosos y demás irregularidades.

3. Será equipo balanceado, aquel que opere siguiendo una programación racional, en la que todas y cada una de las maquinas apoyen a la de rendimiento crítico dentro del conjunto.

4. Será equipo balanceado, aquel que haya sido organizado en forma tal que la maquina de rendimiento crítico del conjunto haya sido correctamente seleccionada.

5.- Será equipo balanceado, aquel que tenga capacidad suficiente para realizar los trabajos que se le encomienden; esto implicara que todo equipo deberá tener una reserva de fuerza adicional a la máxima demanda por las operaciones normales de construcción.

6.- El equipo balanceado, el programa de construcción y los costos de una obra, siempre serán tres análisis interdependientes indisolublemente conjugados, ya que si en uno de ellos se tuvieran de-

ficiencias, a su tiempo se presentaran en los restantes.

Cualquier conjunto de equipo de construcción que solo cumpla - parcialmente las seis condiciones arriba señaladas, solo estará parcialmente balanceado, y frecuentemente desbalanceado.

Para el balanceo de equipo existen varias maneras de analizarlo. Tenemos por un lado las características físicas de cada maquinaria, - en donde el fabricante nos proporciona elementos para evaluar su rendimiento como tablas, formulas o gráficas para aplicarse en ciertos- casos ( en condiciones estandar ), tal es el caso de la excavación - de una zanja con una draga en el que se tiene información precisa de los movimientos de la maquina como giros, distancias, profundidad de excavación, espacio etc., y de las propiedades de los materiales y - con la maquina trabajando continuamente en las jornadas de trabajo. En esta forma realizar un programa de trabajo y obtener el rendimien- to de la maquinaria es más exacto.

Para realizar trabajos de construcción en los que se necesita - utilizar diferentes equipos, y el trabajo de una maquinaria depende de la actividad previa de una o mas maquinas, intervienen otro tipo- de variables que afectan el rendimiento como los tiempos ociosos de- espera. Este es el caso de un túnel en donde para excavar X mts., - lineales tienen que realizarse varias actividades siguiendo un orden definitivo, por decir, se tienen que barrenar, poblar, tronar, reza

gar y ademar el interior del túnel, esto ocasiona los tiempos muertos de la maquinaria por lo que se tiene que hacer un balance tanto del equipo como del personal que tienen discontinuidad en el trabajo. A pesar de que se tienen muchas variables para el análisis del rendimiento de la maquinaria, se cuenta con que el túnel en sí, no tiene otra manera de atacarse en su proceso constructivo y se eliminan las variables aleatorias que pueden modificarlo. Esto es, solamente se puede atacar un tramo de túnel por uno o dos frentes. Se puede decir entonces que los rendimientos se miden en base a valores que se adaptan a muchas situaciones, con ligeras variaciones que son para casos específicos.

Más claramente, tenemos rendimiento de "catálogo" que son los que manejan frecuentemente las secretarías de estado o empresas para estatales, en donde se especifica que "para manposterías el rendimiento de un albañil y ayudante es de 1.5 M<sup>2</sup>. / jornada de 8 hrs.", lo mismo que para habilitado de acero, zanjas, castillos, cimbrados, etc.,

En el caso del Puente Churubusco - Universidad el análisis de precios unitarios de ciertas actividades es más complicado que lo expuesto anteriormente, porque las variables que intervienen son muchas y algunas inclusive aleatorias. Esto es, no existen tablas, catálogos o algún elemento confiable que nos indique como tiene que -

realizarse el proceso constructivo de un puente.

Existen actividades que aparentemente encierran una sencillez - en el cálculo de rendimiento como es el hincado de pilotes. Podríamos pensar que el cálculo se reduce al trabajo de cinco máquinas necesario para su hincado; una grúa levanta un pilote de la tonga y lo coloca sobre un trailer para transportarlo al lugar de hincado; otra grúa toma el pilote del trailer y lo coloca cerca del lugar de hincado; previamente una perforadora realiza la perforación que sirve de guía para el hincado; la grúa piloteadora iza el primer tramo del pilote y lo hinca suficientemente para hizar el 2º tramo y empatarlo; el equipo de soldadura se encarga de soldar los dos tramos del pilote y se concluye el hincado.

Si analizáramos de esta manera el ciclo de hincado de pilotes - como un proceso continuo cometeríamos un grave error y el rendimiento que obtuviéramos no correspondería a la realidad y mucho menos podríamos hablar de que existe equipo balanceado.

Tenemos en primer lugar una situación única de espacio y de barreras físicas que influirán de una manera particular en la obtención de rendimiento. El área de construcción del puente está restringido prácticamente al arroyo central de la Avenida Río Churubusco en la primera etapa, correspondiente a la rampa B-B' y a los arroyos la

terales en la 2a. etapa constructiva correspondiente a la rampa A-A', con el objeto de desviar paulatinamente el tránsito de vehículos, además se tiene que respetar la circulación de vehículos de las Avenidas Coyoacán y Universidad, esto crea en principio problemas de traslado de materiales y en el desplazamiento de la maquinaria. Esta es una de las razones principales que determinan el proceso constructivo que se debe seguir en este puente, otro factor importante que afecta el balanceo de equipo es la fecha de terminación de la obra en la cual se basa el programa de obra, con estos datos se analizarán los rendimientos de varios equipos de construcción que cumplan con el trabajo eficientemente y económicamente tratando de que queden ociosas el menor tiempo posible, esto es finalmente haber conseguido el balanceo del equipo.



## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

Con el puente Churubusco - Universidad se cumplió con una de -- las necesidades prioritarias de la estructura vial de una de las prin -- cipales vías de circulación continua como es el circuito interior, de acuerdo con el plan rector de vialidad y transporte, solucionandose - uno de los puntos más conflictivos de esta vía que es el cruce de la -- avenida Río de Churubusco con las avenidas Universidad y Eje 3 Ponien -- te Coyoacán, dando continuidad y fluidez a grandes volúmenes de trán -- sito que circulan hacia Ermita Iztapalapa y a Zaragoza para tomar sa -- lida a Puebla en el oriente y hacia el periférico y sus posibles sali -- das a Toluca o Querétaro en el poniente minimizando tiempos de recorri -- do.

Durante su construcción observamos la gran utilidad de los ca -- bles de refuerzo empleados en los cabezales de todas las pilas y en -- las vigas de la superestructura, lograndose secciones de concreto me -- nores, disminuyendo así el alto valor que presenta el peso muerto del -- elemento.

Con la aplicación del presfuerzo y combinada con la prefabrica -- ción de estos elementos en el lugar de la obra se logro una mayor eco -- nomía, eliminando los altos costos de flete de elementos estructura--

les si estos hubieran sido prefabricados en una planta, esto es en -- cuanto a las vigas de las superestructura ya que los cabezales se colaron en su lugar definitivo.

Respecto a la cimentación también nos pudimos dar cuenta de que los pilotes de fricción en un suelo de capas de arcilla medianamente compresible con grandes cantidades de humedad como el existente en la zona, son de gran eficiencia para cimentar estructuras que presentan cargas muy importantes como lo es el puente Churubusco - Universidad, esto es debido a la capacidad de carga que tienen por fricción lateral en sus caras.

Durante el proceso constructivo del puente, en lo que se refiere al hincado de pilotes, se logro un balance satisfactorio de la maquinaria que intervino en esta actividad procediendo de la siguiente manera; se inicio el hincado de pilotes en el estribo 17 de la rampa -- B'B, siguiendo con los pilotes correspondiente a las pilas de dicha -- rampa hasta llegar al estribo 1, de igual forma se continuo de este estribo hasta terminar en el estribo 18 de la rampa A'A. Esto nos de muestra que no existe un procedimiento constructivo que se aplique - en todos los puentes sino que debe estudiarse para cada caso que proceso de construcción aplicar dependiendo de las características físicas del lugar así como de muchas variables aleatorias que puedan in-- tervenir.

## BIBLIOGRAFIA

**Apuntes de Acero de Refuerzo**

**Facultad de Ingeniería**

**U.N.A.M.**

**Apuntes de Diseño de Cimbras de Madera**

**Facultad de Ingeniería**

**U.N.A.M.**

**Apuntes de Diseño Estructural**

**Facultad de Ingeniería**

**U.N.A.M.**

**Manual de Diseño y Construcción de Pilotes**

**Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.**