

01121  
50



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE VEHICULAR AV.  
VALLEJO Y PERIFÉRICO ARCO NORTE” EN LA DELEGACIÓN  
GUSTAVO A. MADERO EN LA CIUDAD DE MÉXICO, D.F.

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**

PRESENTAN:  
**JUAN JOSÉ GÓMEZ FERNÁNDEZ  
AURELIANO VIGUERAS SÁNCHEZ**

ASESOR  
**ING. ALBERTO CORIA ILIZALITURRI**



MÉXICO, D.F. .

2003

9



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/ 091/02

Señores  
**JUAN JOSÉ GÓMEZ FERNÁNDEZ**  
**AURELIANO VIGUERAS SÁNCHEZ**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. **ALBERTO CORIA ILIZALITURRI**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE VEHICULAR AV. VALLEJO Y PERIFÉRICO ARCO NORTE" EN LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO EN LA CIUDAD DE MÉXICO, D.F.**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ANTECEDENTES
- III. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO
- III. MECÁNICA DE SUELOS
- IV. CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA Y SUPERFICIAL
- V. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA SUBESTRUCTURA, ESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA
- VI. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA Y ESTRUCTURA
- VII. ELEMENTOS PREFABRICADOS
- VIII. OBRA CIVIL Y ACABADOS
- IX. TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS
- X. CONTROL DE CALIDAD
- XI. 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 junio de 2002.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.

b

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

c

**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE VEHICULAR  
EN AV. VALLEJO Y PERIFÉRICO ARCO NORTE**

**CONTENIDO**

	PÁG
INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	3
II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO	17
III. MECÁNICA DE SUELOS	22
IV. CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA Y SUPERFICIAL	37
V. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA SUBESTRUCTURA, ESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA	45
VI. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA Y ESTRUCTURA	56
VII. ELEMENTOS PREFABRICADOS	62
VIII. OBRA CIVIL Y ACABADOS	78
IX. TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS	87
X. CONTROL DE CALIDAD	105
XI. CONCLUSIONES	116
XII. BIBLIOGRAFÍA	118

## INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento y desarrollo de la Ciudad de México en los últimos 25 años, ha tenido como consecuencia una gran demanda de insumos, servicios y satisfactores; además, considerando que mientras la población de una ciudad o país crece en forma geométrica, los satisfactores aumentan de manera aritmética y esto continuará mientras no existan medidas efectivas que reviertan el crecimiento poblacional.

Dentro de las demandas se encuentran las redes viales, que tienen por objeto intercomunicar los centros urbanos con rapidez y eficiencia; sin embargo, el constante incremento del parque vehicular particular crea conflictos viales que si no se atienden con prontitud, generarán conflictos mayores.

Por tanto, debido a la expansión de la mancha urbana y al incremento de la población, el Distrito Federal se ha convertido en una de las ciudades más pobladas del planeta, con una tasa de crecimiento de 3.5 % anual.

De los 18 millones de personas que habitan la zona metropolitana, el Distrito Federal alberga una población de 8.5 millones, o sea que de cada diez habitantes de la zona metropolitana, coexisten cuatro en el Distrito Federal y el resto en los 58 municipios conurbanos del Estado de México y uno del Estado de Hidalgo.

En la zona urbana de la Ciudad de México, que actualmente abarca 662 km<sup>2</sup>, se realizan 29.5 millones de viajes persona-día, de los cuales el 16.30 % se efectúan mediante el Sistema de Transporte Colectivo Metro y el 83.70 % utilizan el automóvil particular y el autotransporte concesionado (10.5 y 14.20 millones de viajes persona-día). El Gobierno del Distrito Federal estableció el Programa Anual de Construcción de Vialidades y Solución de Puntos Conflictivos, apeándose al Plan Rector de Vialidad para la Ciudad de México, el que se estableció en los años ochentas, inscribiendo en las láminas de alineamiento, números oficiales y derechos de vía, los espacios requeridos para tal fin. Actualmente, el Plan Integral de Transporte y Vialidad está a cargo de la Secretaría de Transporte y Vialidad.

La meta principal del Gobierno es crear un mayor número de vialidades a fin de evitar conflictos en las intersecciones y así mejorar el nivel de vida de sus habitantes.

La Dirección General de Obras Públicas (D.G.O.P.) tiene a su cargo, entre otras funciones, las de construir, ampliar, mejorar, sustituir, remodelar, mantener, conservar y atender la demanda continua de la población, la cual requiere alternativas de comunicación más directas que coadyuven a descongestionar las existentes. De no realizar estas acciones en el corto plazo, el deterioro del medio ambiente se incrementará con las emisiones contaminantes de los vehículos automotores, además de la pérdida de horas-hombre, como resultado de la constante disminución de velocidad de los diversos automotores en circulación.

La construcción oportuna de un mayor número de vialidades beneficia a la población, ya que provee la infraestructura urbana, mejora el paisaje urbano, aumenta el libre tránsito de los servicios de emergencia y reduce los tiempos de recorrido, todo ello reduce las horas-hombre durante el día y en consecuencia, hay una menor emisión de contaminantes y consumo de combustibles.

El Distrito Federal cuenta con 680.0 km de vialidades primarias construidas y en operación, de un total de 930.0 km. El resto aún está inconcluso de acuerdo con el último censo elaborado por la D.G.O.P. en el 2002, lo que obliga a que algunas vialidades secundarias se saturen durante las horas de mayor demanda (h.m.d.), o bien, en intersecciones y hasta accidentes que interrumpen las vialidades primarias, sin alternativas de circulación.

## CAPITULO I ANTECEDENTES

### I.1. QUÉ ES UN PUENTE

Un puente es el lazo de unión o de paso de un río, una carretera o una estación de ferrocarril. Es un elemento que de manera natural o deliberada sirve para salvar ciertos obstáculos.

La vía fija sus características: anchuras, alturas, peraltes y trazado en planta son datos para el diseño de un puente y las variables que constituyen su dimensión funcional. Rara vez el puente determina las características a la carretera, tendrían que ser cruces realmente excepcionales, que reunieran las máximas dificultades para las posibilidades de la tecnología y costos excesivos, para que sean éstos los que determinen a priori la ubicación del puente y sus especificaciones geométricas a las cuales debe plegarse el trazo de la carretera o de la vialidad.

Las condiciones funcionales las impone el móvil que utiliza la vía, por ejemplo, en un puente medieval el perfil longitudinal en "lomo de asno" era perfectamente compatible con las exigencias del caminante o los carros y caballerías que transitaban por el puente. Con este perfil se resolvía un problema importante, por un lado, adecuar el perfil del puente a unas márgenes situadas a poca altura sobre el agua y, por el otro, permitir la disposición de arcos de cierta luz, cuyos peraltes permitían su adecuada conformación y un fácil paso para las corrientes de agua. Hoy en día el perfil en "lomo de asno" es totalmente incompatible con las exigencias del tráfico constante de vehículos pesados.

Existe otra condición funcional que él móvil fija al puente, su rigidez. Un puente se deforma con el paso continuo de los vehículos. Se producen acortamientos o alargamientos, giros, flechas, corrimientos en general que deforman las características del trazo. Antes de 1950 las vibraciones y deformaciones de los puentes no se consideraban en los cálculos estructurales y su valor no influía en las condiciones de cruce en el confort del usuario.

Actualmente, ocurre lo mismo con frecuencia, pero hay ocasiones en que el tren de alta velocidad acota la cantidad de deformaciones que a su paso se producen en un puente, en las pasarelas de peatones, las cuales controlan su respuesta dinámica al volver a su estructura original y asegurar un cruce confortable.

Para dar cumplida respuesta a las necesidades de la Ciudad de México, la tecnología cuenta con una serie de posibilidades. A lo largo del tiempo se han ido creando nuevos materiales, medios, procedimientos y conocimientos que han permitido resolver la materialización del puente. El desarrollo de materiales resistentes, como el hormigón y el acero, es el resultado de una larga búsqueda de materiales más resistentes,

económicos y fáciles de obtener que la piedra y la madera, los cuales eran los materiales clásicos para la construcción.

De la misma manera, respecto a la disponibilidad de conocimientos rudimentarios sobre la respuesta de determinada resistencia, obtenida por medio de procedimientos de prueba y error, se ha logrado mayor acceso al acero y al hormigón, así como un control adecuado de la respuesta resistente de estructuras cada vez más complejas y eficaces.

Se conoce bien el comportamiento de arcos, celosías, vigas de grandes dimensiones, tableros atirantados o colgados. Además, se ha logrado optimizar bastante sus disposiciones, de modo que se conocen con suficiente precisión, en los casos normales, qué resulta más barato o más caro.

Junto con estas posibilidades, que conforman la tipología estructural y los modelos múltiples de puentes que se conocen, el desarrollo en geotecnia y las múltiples variantes de cimentación permiten realizar apoyos seguros en cursos de agua, laderas de montañas y casi en cualquier otro tipo de topografía, que resuelven uno de los problemas clásicos de los puentes durante su historia, realizar cimentaciones seguras para que los ríos, por ejemplo, y la socavación que producen en su cauce y en la propia pila, no lo arruinen en épocas de avenidas.

Las posibilidades y las necesidades no son variables independientes. Realizar un puente entre dos ciudades distantes una de otra no parece necesario hoy en día, pero si hubiera oportunidad de realizarlo a un costo razonable, surgiría de inmediato la necesidad. En la actualidad, se realizan obras que hace pocos años eran inimaginables.

## 1.2 LA HISTORIA Y ESENCIA DE UN PUENTE

Todo puente no es más que un momento en la historia de los puentes. Toda la tradición heredada de los antepasados configura y condiciona la manera de pensar acerca de los puentes. Un puente romano o una pasarela colgante inca, no es sólo una respuesta a un problema de paso, en la que se utilizó una determinada tecnología, sino es también una clara definición de un puente. Es una transmisión del cómo y para qué se ha realizado, que permite descubrir el porqué de los puentes y su esencia.

En ellos se pueden leer las preguntas y respuestas que se hicieron sus constructores al realizarlo, y que coinciden con las que ahora se formulan los ingenieros: qué material utilizar, cómo ordenarlo, cómo construirlo y a qué resultado formal llegar. Definir entonces el puente como una estructura resistente construida, es especialmente útil, pues incluye los cuestionamientos básicos que se hace todo constructor, en general y de puentes en particular, aunque resulta incompleto, pues los puentes no son sino el resultado de su historia y para el que los hace sólo es lo que él piensa que son.

Para abundar sobre este concepto, la forma de la columna es mucho más que el vehículo de determinadas solicitaciones o cargas, es el traductor formal del sentimiento

# **TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

común de lo que es soportar y resistir las cargas. Que produzca sensación de robustez o liviandad, de tranquilidad o de intranquilidad, es algo que el constructor puede manipular. Que se sitúe o no sobre un basamento, que la corone un capitel o que tenga o no estrías, es algo que trasciende el hecho de resistir para convertirse en la forma en la que resistente se manifiesta.

Hoy se puede determinar con bastante precisión cuál es la tensión que lo solicita, y la invención de la forma resistente pasa siempre por esa interacción de lo que se sabe que son las formas resistentes heredadas y la respuesta resistente que logran. Se puede construir la columna maciza o hueca, con sección en doble "T" o en cruz, de espesor constante o variable, o bien articulado o empotrado. Incluso, puede probar su respuesta resistente descomponiéndolo en elementos triangulares simples que manifiestan la complejidad de los esfuerzos que lo solicitan. Todas estas formas, cuya resistencia y explicación son elementales, determinan formalmente una u otra versión que condicionará al resto del diseño.

El cambio introducido por Brown en el dintel del puente colgante, al pasar por la celosía rígida de la escuela americana a las secciones continuas pseudo aerodinámicas del puente de Servign, es un buen ejemplo de lo anterior y que propicia la doble lectura física y formal, pues por un lado transmite la manera de tratar los esfuerzos aeroelásticos y por el otro prueba la presencia del viento en la forma del dintel.

Ahora bien, a la presencia de lo resistente en la forma es necesario añadir su dimensión de forma construida. Los ingenieros crean estructuras de gran tamaño cuyo logro sólo puede obtenerse por agregación y superposición de partes pequeñas y manejables. La dovela de piedra de un arco es el resultado de un acto creador de primera magnitud; su peso, su forma, su resistencia son consustanciales a la forma final en que se ordenen (el arco), de manera que no se sabe qué es antes: si el arco o la dovela, pero lo que sí está claro es que el arco no se habría descubierto sin la dovela. Un arco monolítico es un producto de la naturaleza, no del hombre. Con muchos más medios y posibilidades, con muchos más conocimientos y dos mil años de historia constructiva, el puente de Parramatta, en la bahía de Sydney, de 304.0 m de luz, es una copia exacta en formas, conceptos y procedimientos de la obra antecesora más antigua, el puente Romano.

El material fija características propias en todo este proceso, no sólo las resistentes, como peso, resistencia y rigidez, sino las características formales en que puede obtenerse y configurarse. La viga en celosía es al acero o a la madera lo que la piedra al arco, una simbiosis prodigiosa entre construcción y forma resistente. Tampoco aquí se sabe qué es antes o después, el elemento lineal corto o la celosía en que se ordena. Y aparece el nudo, la vinculación entre las partes, como el elemento básico fundamental de lo construible. "Dios está en los detalles", decía Mies Van Der Rohe.

Entre los primeros puentes se encuentran los que forma la propia naturaleza, como los troncos de árboles caídos; después los que construyeron los Egipcios, fue el Rey Menes el primero en mandar construir un puente. Los Romanos construyeron muchos de madera y grandes arcos de mampostería, de estos abundan los de forma de arco; Inglaterra fue el primer país que usó las estructuras metálicas. En China pendieron con los puentes

colgantes; en los Estados Unidos de Norteamérica, los Pielos Rojas se valieron de los cantiliver.

La conjunción de elementos y estilos, material resistente, forma en que se ordenan y construyen, constituye un lenguaje que es propio de los artifices de los puentes, con su vocabulario y sus reglas, y desde el cual se producen diversas maneras de interpretar sus aspectos estructurales.

Desde el principio de los tiempos hasta la actualidad, se ha producido un enriquecimiento continuo de este lenguaje. A veces el desarrollo ha sido muy lento, en otros, muy rápido. La historia de los puentes y su esencia es el reflejo definitivo de toda esta complejidad y su única definición.

### **I.3 LA HISTORIA DE LOS PUENTES EN MÉXICO**

En México y en el resto de Centro y Suramérica en general, el puente era conocido en su forma primitiva y rudimentaria a base de troncos o grandes ramas de árboles sostenidas o sujetas con lianas o bejucos. El tronco era tirado sobre el arroyo y sujetado con lianas. Las necesidades no eran mayores y las técnicas de estas construcciones estaban en la etapa de arranque. La cultura Inca señala la existencia de puentes colgantes con pasarela, para salvar distancias mayores que las que podía cubrir un tronco.

En México, la ciudad antigua con mayor número de puentes en servicio fue Tenochtitlan, la ciudad capital de los Aztecas, que como se sabe se fundó en un islote del Lago de Texcoco y que al urbanizarse quedó comunicada por cuatro calzadas que, según el mapa de Clavijero, fueron: Tlacopan, Tepevac, Peñón e Iztapalapa; el resto de la superficie estaba cubierta de agua.

De aquellas calzadas se derivaron acequias, zanjas y canales que requerían puentes para cruzarlos. La palabra puente ya predominaba en la nomenclatura de esa gran ciudad, después de muchos años de ser conquistada, designando cruceros en los que coincidían una calle de tierra y otra de agua, por ejemplo: Puente de San Dimas (hoy Mesones, entre 5 de Febrero y Pino Suárez), Puente de las Ratas (hoy Bolívar, entre Jesús María y Plaza Juan José Baz) y Puente de Leña (hoy Corregidora, entre Jesús María y Alhóndiga de Granaditas).

Fue Hernán Cortés que por necesidades de su viaje a la Hibueras (hoy Honduras), construyó el mayor número de puentes conocidos hasta entonces, utilizando técnicas distintas a las empleadas en México. Entre 1524 y 1526, transcurrió el camino de ida y regreso del conquistador y sus soldados, donde hubo muchas dificultades porque se cruzaron pantanos y ríos. Don Antonio García Cubas, en su obra *Atlas geográfico, estadístico e histórico de la República Mexicana*, detalla "de los pasos de columpio dejados por manos maestras y sabias", refiriéndose a los puentes construidos por el conquistador y que utilizó para ir y venir durante su expedición histórica.

---

En la urbanización de la Nueva España se fue introduciendo lenta pero firmemente la influencia de España en asuntos de ingeniería, como iglesias, colegios, plazas, conventos y fortalezas; lo mismo ocurrió en el terreno de las comunicaciones. El uso del arco comenzó su labor bienhechora, y son numerosísimos, por no decir todos, los casos en que para cruzar ríos y arroyos se empleó el arco construido a base de cantera o ladrillo. Consecuencia directa de la influencia de Roma sobre España y de ésta sobre México. Gracias a esa "porción continua de la curva", se erigieron acueductos y puentes de piedra volcánica y cal con una técnica llamada de *cal y canto*.

Los puentes se agrupan dentro de las obras de arte útiles y deben, por tanto, sujetarse a los cánones de la técnica y de la estética. En la construcción se conjugan las normas de la ingeniería y los principios de la arquitectura como una de las bellas artes.

El funcionamiento debe anteponerse a su forma, pero no puede hacerse a un lado la belleza, y tampoco debe buscarse ésta como un fin principal; la belleza debe brotar de su función de manera natural.

Esta teoría, este maridaje entre pragmatismo y estética, coexiste en las fortalezas del Fuerte de San Diego, con su puente levadizo, y en San Juan de Ulúa, en Veracruz. Ambas son fortalezas militares, pero no están exentas de un magnífico juego de volúmenes que se aprecia desde la perspectiva del observador sensible al arte.

El Archivo General de la Nación guarda en sus estanterías, numerosa información sobre construcciones de esa naturaleza, desde la época colonial hasta los inicios del siglo pasado y quien incursione en este mundo de múltiples facetas, se enterará que es el Bajío la región que cuenta con el mayor número de solicitudes y permisos para puentes y calzadas. Sin olvidar que, además de ser una ingratitud sería una imperdonable omisión, la ciclópea tarea de los religiosos para unir a nuestro territorio por esas nevaduras que son los caminos. Basta recordar a Juan Sebastián de Aparicio y a Fray Junípero Serra, dos héroes importantes de la comunicación, cuando trazar y hacer caminos por desiertos y serranías era toda una epopeya digna de escribirse con letras de oro, en la República Mexicana se encuentran puentes de varios tamaños y estilos. Las ciudades de Querétaro, Puebla, Morelia, Guanajuato, San Miguel el Grande (hoy Allende), Guadalajara y otras, guardan con orgullo las grandes obras de sus benefactores.

Citar todas las construcciones es tarea imposible en este breve espacio, además, en algunos lugares fueron demolidas, y en otros casos han cambiado de curso las carreteras, como la de México-Guadalajara vía Morelia, que hizo necesario construir muchos puentes, algunos de acero. En la administración de los Presidentes Ávila Camacho y Alemán se empleó la técnica del concreto armado, en la del Presidente López Mateos se usó el concreto presforzado. Con esta última técnica, a mediados del siglo pasado, se terminó el magnífico puente Alvarado sobre el río Papalotlán y los Puentes Ameca y San Nicolás sobre la carretera costera del Pacífico.

Entre los puentes de acero, vale la pena mencionar al Puente García Soto, que se ubica sobre la autopista Orizaba-Córdoba. Aquí se emplearon 80 000 remaches 44 500 kg de soldadura, 10 000 m<sup>3</sup> de concreto, y 250 000 kg de acero estructural. El puente tiene dos

calzadas de 7.5 m cada una con dos guarniciones, un camellón central con un total de 17.7 m de ancho y a una altura de 132.0 m.

Con los puentes de arco se llegaron a salvar grandes claros, haciendo el puente cada vez más alto, con el surgimiento del pretensado ya no fue necesario elevarse tanto para obtener claros de gran magnitud y los puentes se construyeron cada vez más lineales, el empleo posterior de los sistemas de atirantamiento limitan de manera insignificante a los claros, en cuanto a su resistencia.

Los elementos más importantes del sistema de atirantamiento o tensado de una estructura son los cables, de ellos depende la estabilidad de la obra, y éstos se arman en forma de abanico, semiabanico o arpa.

En la topografía mexicana, las veredas, los viejos caminos de herradura, las brechas y terracerías, los angostos caminos vecinales, carreteras y puentes federales, continúan en operación para beneficio de sus usuarios tradicionales, un pueblo múltiple y polifacético, un inquieto pueblo en movimiento.

#### **1.4 PRIMER PUENTE QUE SE CONSTRUYÓ EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

En México, en la época prehispánica, Mexicas y Mayas, construyeron caminos que les permitieron conquistar, dominar y comercializar en zonas extensas. Durante el período Colonial, la minería, principal actividad, dio origen a numerosos centros de población que debieron ser enlazados por una red de caminos y puentes.

A diferencia de Europa, los caminos de México no se relacionan con la aparición de la rueda, ya que las culturas prehispánicas desconocían su aplicación mecánica. Carecían de bestias de tiro y de carga, lo que no fue obstáculo para construir una amplia red de caminos, calzadas, veredas y senderos que, hacia el Sur, llegó hasta cerca del actual canal de Panamá.

Aun en la zona dominada por los Mayas, caracterizada por la presencia de terrenos pantanosos, muchos caminos mantuvieron su trazo recto y se tendieron por encima de lagos, esteros y pantanos. Los caminos construidos por los Aztecas se empleaban frecuentemente para el envío de mensajes. Los conquistadores españoles quedaron impresionados con las cuatro calzadas de tierra firme que cruzaban de Tlatelolco a Iztapalapa y de Tacuba a Texcoco; de las cuales, la de Iztapalapa, que correspondía al Sur y la de Tacuba al Oeste eran las más transitadas.

La primera se construyó inicialmente como un dique que resguarda a la ciudad del agua salada; partía de la cara sur de la gran plaza central y cruzaba toda la ciudad hasta la orilla de la laguna, donde se alzaba el Puente Xólotl. Ésta era la entrada sur de la ciudad, y las vigas que componían su anchura se desmontaban para defensa de la misma. Desde este punto, la calzada continuaba su recorrido hacia el sur hasta el

Puente Xóloc, donde se bifurcaba el camino hacia Iztapalapa, por un lado, y hacia Coyoacán, por el otro.

Por lo que el Puente Xóloc y las calzadas son los primeros antecedentes de lo que hoy es el Distrito Federal.

## **I.5 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE UN PUENTE**

Los puentes son de dos tipos, fijos y móviles, y se agrupan según sus características:

### **Para servicios o de instalaciones soportadas:**

- Carreteros o de ferrocarril
- Para canales y acueductos
- En cruces peatonales o de ganado
- Para manejo de materiales
- Para tuberías

### **Sobre instalaciones o accidentes naturales:**

- Para carreteras o vías férreas
- Para librar ríos, bahías, lagos, cañadas, barrancas o en cruces de valles

### **Sistemas estructurales:**

- De claro simple o de viga continua
- De arco simple o múltiple
- Colgantes
- Del tipo marco o armadura

### **Por su geometría en planta se pueden considerar:**

- Curvos
- Rectos
- Esviejados

**En elevación:**

- De nivel bajo
- De caballetes
- De nivel alto

**Por sus materiales de construcción:**

- De madera
- De mampostería
- De concreto
- De acero
- Mixtos

Otra clasificación de los puentes se debe a la existencia y origen de los elementos estructurales que lo componen:

**Puentes de vigas roladas.** Los puentes de acero más simples consisten en vigas "I" roladas o vigas de patín ancho, que soportan el tráfico que se mueve sobre la cubierta de rodamiento o están totalmente integrados a ella. Las vigas roladas también sirven como piezas de puentes y largueros para cubiertas de traves armadas y puentes de armadura.

**Puentes de traves armadas.** Las traves armadas se usan como elementos primarios de soporte en muchos sistemas estructurales como vigas simples en los estribos o con extremos en voladizo sobre pilares, vigas continuas o articuladas para claros múltiples, traves rigidizantes en puentes de arco y puentes colgantes y en los del tipo marco rígido. También sirven como piezas de puentes y largueros en éstos y otros sistemas de puentes. Su aplicación más valiosa en puentes carreteros y de vías férreas es como cubiertas de traves armadas en combinación con cubiertas de concreto.

**Puentes de traves compuestas.** La instalación de conectores al corte diseñados en forma apropiada, entre el patín superior de las vigas o traves y la cubierta de concreto, permite utilizar ésta como parte del patín superior (cubre placa equivalente). El aumento que se produce en el peralte efectivo de la sección total y las posibles reducciones en el acero del patín superior, en general, permite algunos ahorros en acero comparados con la de sección de acero no compuesta.

**Puentes de cubierta ortopédica.** Una cubierta ortopédica es, en esencia, una placa continua de acero, con atiesadores (nervaduras o costillas) soldados en su parte inferior en disposición paralela o rectangular. Cuando se usa en puentes de acero, las cubiertas ortopédicas se unen por lo general en forma casi monolítica, por medio de soldadura o pernos de alta resistencia, a las traves principales y las piezas del puente; estas cubiertas

tienen, entonces, una función dual, como superficie para el tránsito y como patín superior estructural.

**Puentes de armadura.** Las armaduras son celosías formadas por elementos rectos en arreglos triangulares. Los puentes de armaduras requieren más trabajo de campo que los de traveses armados semejantes, además, el mantenimiento de las armaduras es más costoso, debido a la hechura más complicada de los miembros y el difícil acceso a las superficies de acero expuestas.

Por estas razones, y como producto de las cambiantes preferencias estéticas, el uso de armaduras es cada vez más restringido a puentes de claro largo, donde el peso relativamente bajo y el consecuente fácil manejo de los miembros individuales sean ventajas decisivas.

**Puentes colgantes.** El sistema estructural básico consiste de cables principales flexibles (a veces cadenas de argollas) y, suspendido de ellos, traveses o armaduras rigidizantes (denominados en general vigas de rigidización) que soportan la estructura de la cubierta. Los carriles de tránsito vehicular se acomodan, por regla general, entre los sistemas principales de soporte.

**Puentes de arco de acero.** Un puente de arco típico consiste de dos, o en forma excepcional, de más arcos paralelos o series de arcos, así como los contraventeos laterales necesarios y apoyos en los extremos y columnas, o suspensores para soportar la estructura de la cubierta. Los tipos de arco corresponden, en forma aproximada, a las posiciones de la cubierta en relación con las costillas de arco.

**Puentes atirantados.** El puente atirantado, también llamado trabe atirantada (o armadura), se usa cada vez más en puentes de claros medios y largos, debido a su economía, rigidez, cualidades estéticas y facilidad de montaje sin obra falsa.

El diseño de tales puentes utiliza cables tirantes, los cuales conectan los pilones al claro con objeto de proporcionar apoyo intermedio.

**Puentes de acero con traveses curvos.** En puentes con traveses de acero curvos, el diseñador debe considerar el efecto de la torsión, asimismo, poner especial atención al espaciamiento, diseño y conexiones de los marcos transversales.

El efecto de la torsión disminuye los esfuerzos en las traveses interiores (las más cercanas al centro de curvatura), pero hay un correspondiente incremento en los esfuerzos de las exteriores.

Aunque las diferencias no son grandes en sistemas con traveses múltiples, las diferencias de los esfuerzos en sistemas de sólo dos traveses, con curvas de pequeño radio y claros grandes, pueden ser hasta de 50%.

**Puentes de losa.** Los puentes de losa de concreto, reforzada longitudinalmente, pueden estar apoyadas sobre pilares o estribos, monolíticos con soportes de pared o muro, o ser continuos sobre soportes.

**Puentes de vigas "T".** Este tipo de puentes, que se emplea mucho en la construcción de carreteras, consiste en una losa de concreto soportada sobre traveses integrada a ella, es económica, cuando se prohíbe la obra falsa debido a las condiciones de tránsito o limitaciones en el libramiento.

Pueden utilizarse elementos precolados de concreto reforzado o preesforzado. Pero debe proveerse la adecuada adherencia y la resistencia al cortante en la unión de la losa y las traveses, con objeto de justificar la suposición de que son integrales.

**Puentes de traveses de caja.** Las traveses de caja o ahuecadas que se hacen de concreto son las favoritas de muchos diseñadores, debido al plano suave de la superficie del fondo, no obstruida por las líneas de traveses individuales.

La provisión de espacio en las celdas abiertas para las instalaciones es una ventaja estructural y también estética; las instalaciones se apoyan sobre la losa de fondo y puede disponerse de acceso para la inspección y reparación de dichas instalaciones.

## **1.6 PUENTES MÁS RECIENTES EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

En los últimos años se levantaron o ampliaron 54 puentes vehiculares elevados o deprimidos, en cruces simples o distribuidores. Los puentes realizados han sido patrocinados por la D.G.O.P. y la Dirección General de Construcción y Operación del Sistema Transporte Colectivo (D.G.C.O.S.T.C.) y actualmente por el Fideicomiso para el mejoramiento de las vías de comunicación del Distrito Federal (F.I.M.E.V.I.C.).

### **En Calzada de Tlalpan:**

1. Municipio Libre
2. Emiliano Zapata
3. División del norte, cuerpo oriente
4. División del norte, cuerpo poniente

### **En Periférico:**

5. Ampliación Las Flores
6. Ampliación Altavista
7. Ampliación Desierto de los Leones

8. Deprimido Av. Toluca
9. Las palmas
10. Canal Nacional, en Xochimilco
11. Distribuidor Tláhuac
12. Distribuidor Ermita
13. Alameda Oriente, cuerpo sur
14. Alameda Oriente, cuerpo norte
15. Gran Canal
16. Amealco
17. En eje 6 Sur
18. Distribuidor Miramontes
19. Tepepan, cuerpo sur
20. Tepepan, cuerpo norte
21. Muyuguarda 1era. etapa

**En Calzada Ignacio Zaragoza:**

22. Rojo Gómez
23. Canal de San Juan
24. Telecomunicaciones
25. Juan C. Bonilla
26. República Federal
27. Amador Salazar
28. Distribuidor Puñeteros, Francisco del Paso y Troncoso y Calz. Ignacio Zaragoza

**En el Eje Central:**

29. Deprimido Paseo de la Reforma y Eje 1 Norte

**En el Eje 3 Oriente:**

30. Coyuya, en Eje 4 Sur
31. Canal de Apatlaco
32. Canal de Tezontle
33. Purísima, en Eje 5 Sur
34. Aculco, en Eje 6 Sur
35. Río Churubusco, en Circuito Interior
36. Eje 3 Oriente-Viaducto, cuerpo poniente
37. Eje 3 Oriente-Viaducto, cuerpo oriente

**En la Avenida Central:**

38. Bulevar de los Aztecas
39. Bulevar de los Teocallis
40. La Herradura, en Av. Suterma
41. Tecnológico, en Av. camino a Nueva Aragón
42. Múzquis, en Valle de Guadiana
43. Remedios, en Bulevar Río de los Remedios y Periférico, cuerpo norte
44. Remedios, en Bulevar Río de los Remedios y periférico, cuerpo sur
45. Gobernadores, en Av. José M<sup>a</sup> Morelos y Pavón
46. Impulsora, en Av. Impulsora
47. Continentes, en Bulevar Bosques de África

**En la Avenida Oceanía:**

48. Distribuidor vial Villa de Aragón, en Avenida 412 Taxímetros y Avenida 608 Oceanía.
49. Distribuidor vial Bosque de Aragón, en 602 Vía Tapo y Avenida 608 Oceanía
50. Marruecos, Av. del Peñón

**Otros puentes son:**

51. Eje 2 Oriente-Canal Nacional
52. El Yaqui, en Cuajimalpa
53. Miramontes-Avenida Churubusco, sobre Circuito Interior
54. Distribuidor vial San Antonio

Actualmente se encuentran en proceso de licitación los puentes de:

- ✓ Av. del Taller y Av. Francisco del Paso y Troncoso (Eje 2 sur-Eje 3 Ote.)
- ✓ Av. del Taller y Av. Francisco del Paso y Troncoso
- ✓ Marruecos y Av. oceanía

**I.7 CONSTRUCCIÓN DE PUENTES CON TECNOLOGÍA PROPIA**

Cada puente que se construye en la Ciudad de México presenta características propias que lo hace único y diferente a los ya existentes. No obstante, cada uno tiene particularidades comunes y especificaciones diferentes a los demás; estas últimas son las que obligan a definir variantes y a enriquecer la experiencia que de sus características se obtiene.

La construcción de estos puentes debe realizarse con presupuestos reducidos y en el menor tiempo posible, para no aumentar el caos vial y minimizar las molestias que este tipo de obras ocasionan en forma temporal a la comunidad.

Por otra parte, deben cumplir con las especificaciones estructurales y arquitectónicas establecidas en los reglamentos vigentes, es así como las autoridades, proyectistas y constructores involucrados en el proceso, se enfrentan a un gran reto continuo.

En cuanto al desarrollo constructivo, es fundamental apreciar esta obra por el servicio que brinda y por ser un ejemplo de la ingeniería civil mexicana. Tecnología de punta de alta calidad y eficiencia patentada por la empresa Rioboó S. A. de C. V., está proyectó el puente de manera integral, perfectamente adecuada a las posibilidades de producción, herramientas, mano de obra e infraestructura actuales en el país, así como a todos los procesos constructivos utilizados por empresas nacionales.

La tecnología mexicana en el ramo de la construcción, ha incursionado con éxito en numerosos países de Latinoamérica como ha sido en República Dominicana, Colombia, Ecuador, Brasil, Chile y Argentina, y ha competido y ganado licitaciones en concursos contra firmas constructoras de Estados Unidos, Francia, Italia y Japón.

## **I.8 VIDA ÚTIL**

En algunos estados de la República se construyen obras que logran tener un nivel de servicio de unos 50 años, como una carretera, en la que sus características geométricas le dan una mayor seguridad, el tipo de pavimento y su construcción la hacen funcional a largo plazo, en virtud de que la eficiencia de los movimientos está muy ligada al espacio que se tiene para desarrollarlos y que, en términos generales, es generoso o por lo menos suficiente para hacer adecuaciones.

Pero no es fácil lograr obras de larga vida, porque los espacios o áreas tan reducidas en la metrópoli, el tipo de suelo y los costos, definitivamente no lo permiten, como el Puente de Calzada Vallejo que tendrá una vida útil de 15 años, en la que además se pensó en el bienestar del conductor, razón por la cual se diseñaron los tubos de los barandales y parapetos rígidos y flexibles al impacto, con un material accesible en cuanto adquisición y mantenimiento, también con accesorios para el equipamiento como alumbrado y señalamiento que son los utilizados por el Distrito Federal en todas sus obras.

## **I.9 SISTEMA ESTRUCTURAL**

Los sismos que afectaron a la Ciudad de México y a gran parte del territorio nacional en 1985, obligaron a revisar, modificar y dar vigencia al Reglamento de Construcción del Distrito Federal, para optimizar los procedimientos y criterios de diseño estructurales.

En los últimos 15 años se han construido en el Distrito Federal 54 puentes en los que se empleó un sistema estructural a base de elementos prefabricados de concreto presforzado, metálico y atirantados para resistir las fuerzas sísmicas.

Para este puente se desarrolló un sistema que consiste en la formación de dos estructuras de marcos sismorresistentes en las direcciones Oriente-Poniente y Norte-Sur, con características notables de vialidad de tránsito fluido del transporte. En lo referente al sector transporte destaca la creación de la Ley de Transporte, el Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995-2000, y la actualización del Plan Maestro del Metro en 2002.

Desde el punto de vista vial, se considera de gran relevancia la intersección del Anillo Periférico Norte y la Calzada Vallejo, en virtud de que por esta última transita una gran cantidad de vehículos de transporte público, particular y de carga pesada, convirtiéndola en una vialidad natural de enlace con el estado de México y de salida hacia el norte del país, a través de la autopista México-Querétaro.

En consecuencia, autoridades del Distrito Federal y del Municipio de Tlalnepantla, acordaron resolver el problema de esta intersección mediante la implantación de un distribuidor vial que facilitara el enlace entre las dos entidades, por medio de dos cuerpos principales a desnivel y dos gazas de liga, de dos y un carriles, este distribuidor, junto con el Puente Vehicular del Eje Central y Anillo Periférico Norte y el de la Avenida Ceylán y la Avenida Mario Colín, forma parte de una solución integral para mejorar la comunicación vial en la zona, beneficiando al mismo tiempo a los habitantes de las colonias cercanas como San José de la Escalera, Santa Rosa, San Felipe Ixtacala, Praao Ixtacala y Ampliación Progreso en el Distrito Federal, así como El Arenal, Las Palomas, San Bartolo Tenayuca, Casas Viejas, Izcalli Pirámide I y II, Ahuehuetes, Poder de Dios y Tabla Honda, en el estado de México.

Debido al crecimiento incontrolado que sufrieron esas colonias, no contaban con vías de comunicación continua de acceso y salida, con lo que la implementación del distribuidor solucionará en gran medida los problemas de movilidad interna y externa a corto y mediano plazos, con la construcción de la primera etapa, y a largo plazo, con la segunda etapa.

Vías primarias que conforman la intersección:

- Periférico Arco Norte-Calzada Tlalnepantla Tenayuca (dirección oriente-poniente)
- Calzada Vallejo (dirección sur-norte)
- Prolongación Calzada Vallejo (dirección sur-norte).

## CAPITULO II DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

### II.1 ANTECEDENTES

Los problemas que genera la concentración del parque vehicular en una zona determinada, son la base de los diversos programas de transporte y vialidad. Así, surge la necesidad de obtener un mayor rendimiento de la red vial existente, ampliándola e integrándola mediante obras estructurales de tipo puntual (elevada, deprimida y/o mixta)

Sin embargo, la construcción de nuevas vías, y la ampliación de la red de transporte colectivo, no siempre constituye la mejor alternativa para disminuir la problemática de congestión, es decir, aun cuando agilizan la movilidad vehicular y los viajes persona-día, éstas requieren de un apoyo mediante acciones como la infraestructura puntual, orientada a una menor movilidad del parque vehicular, logrando una integración más directa no sólo a nivel local o zonal. Esta continuidad de la red vial amplía la comunicación y logra la intercomunicación a nivel regional, acorde con las necesidades de movilidad de la ciudad o área metropolitana.

A medida que los problemas de movilidad y desplazamiento de vehículos y personas, se han resuelto parcialmente con nuevas líneas y ampliaciones a la red existente de transporte masivo, ha ido también enriqueciéndose la trama vial, logrando una mayor cobertura del esquema vial primario a nivel zonal, sin embargo, en algunos puntos, principalmente a nivel regional, se requieren aún adecuaciones que cumplan con los planes propuestos por los programas rectorés de planeación.

Un ejemplo de este tipo de planeación se aprecia en el proyecto del Tren Metropolitano de la Línea B, que requirió de una infraestructura de apoyo en el estado de México y en el Distrito Federal, y que logra una integración de la red primaria, tanto transversal como longitudinal, conforme al trazo y la red primaria, utilizando el proyecto que considera esta memoria, influye en forma directa y considerable, lo cual permite que con esta nueva obra puntual se obtenga una integración de la red en un 90%.

### II.2 SITUACIÓN ACTUAL

La aplicación de diferentes estudios de campo a una zona determinada, que mantenga una interrelación en su marco de influencia, permite tener un contexto general del ámbito puntual y regional prevaicente en ésta.

Parte de las investigaciones de campo que se aplican, corresponden al conocimiento de las redes viales primaria y secundaria que integran el área de análisis, sus

características propias de operación, la identificación y clasificación del tipo y calidad de servicio que brindan.

El transporte de pasajeros es otro de los estudios de campo necesarios, al igual que la utilización a que se han destinado los predios existentes en el área de investigación. El marco de análisis en el caso del Puente Vehicular Periférico Norte-Calzada Vallejo, se integra de la siguiente manera:

**Municipio de Tlalnepantla (zona norte):**

- Calzada Tlalnepantla-Tenayuca, de Avenida Ceylán a Avenida Cien metros.
- Prolongación Vallejo-Cien metros, de la Calzada Tlalnepantla-Tenayuca a la Avenida Santa Cecilia.
- Calle Tizoc-Avenida Santa Cecilia, de la Avenida Santa Cecilia a la Calzada Tlalnepantla-Tenayuca

**Delegación Gustavo A. Madero (zona sur):**

- Calzada Vallejo, de Río de los Remedios a Avenida Tlalnepantla-Tenayuca, zona oriente y norte
- Periférico Arco Norte, de Avenida Ceylán a la Avenida Cien Metros, zona poniente
- Avenida Tequesquihuac, de Avenida Ceylán a Calzada Vallejo

### II.3 VIALIDAD

Sistema vial urbano es el conjunto de vías que estructuran el área donde transita una mancha urbana. Éstas deben de construirse de manera adecuada para lograr una operación eficiente y segura del tránsito de vehículos y personas, por lo que deberán cumplir adecuadamente con las necesidades de movilidad.

Este tipo de vialidad con sus intersecciones funciona con las características de operación típicas que tienen las vías principales de tipo primario, como un gran flujo vehicular, entronques sematizados y de reducida área de sección de maniobras, los cuales limitan la fluidez del tránsito, con sus consecuentes conflictos de operación que inciden prácticamente en los niveles de servicio.

Con base en lo expuesto, el esquema vial de la zona de estudio presenta las siguientes características de operación y niveles de servicio durante la h.m.d. matutina.

Nombre de la vía	Sentido de circulación	Núm. de carriles	Volumen (V x H)	Nivel de servicio	Tipo de vía
Calzada Vallejo	Sentido Sur-Norte	(5) 3 y 2 carriles por sentido	2630	D	Primaria
Calzada Vallejo	Acceso Norte-Sur	(3) 3 carriles un sentido	1356	C	Primaria
Periférico Norte	Sentido Poniente-Oriente	(4) 3 y 2 carriles por sentido	2285	D	Primaria
Periférico Norte	Sentido Oriente-Poniente	3 carriles un sentido	1982	C	Primaria
Calzada Tlalnepantla-Tenayuca	Acceso Oriente-Poniente	3 carriles un sentido	1978	D	Primaria
Avenida Tequesquihuac	Acceso Norte-Sur	4 carriles un sentido	2766	D	Primaria

Los flujos de tránsito sobre la Calzada Vallejo en el sentido sur-norte al llegar a la intersección son muy elevados, lo cual obedece a que el 75% del movimiento direccional de vuelta izquierda se da mayormente hacia la Calzada Tlalnepantla-Tenayuca, que durante la movilidad representa un porcentaje alto en el total del volumen registrado.

Como se observa en la tabla anterior, las vialidades en análisis se encuentran operando durante la h.m.d., 7:30 a 8:30 hrs, a un nivel de servicio C y D, anterior o igual a su capacidad, generándose en sus intersecciones, por tanto congestiónamiento (actualmente la intersección está regulada con una señal de 120 grados) que ocasiona grandes filas de vehículos que se traducen en pérdida de tiempo al cruzar o liberar la intersección, en uno u otro sentido de la zona, por lo cual durante los rangos de máxima demanda (i.m.d.) se opera manualmente la semaforización en el entronque.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Lo anterior es comprensible si se considera que la zona es de gran movilidad y que sólo existen dos vías principales de salida hacia el estado de México para el tránsito proveniente del Distrito Federal, las cuales absorben los volúmenes vehiculares de enlace entre ambas entidades.

Los flujos vehiculares principales y sus respectivos destinos hacia el estado de México y norte del país en esta zona se hacen por la Avenida de los Cien Metros, la cual cuenta con un puente vehicular en servicio, y por la Calzada Vallejo, sobre la que transita una gran cantidad de vehículos de transporte público, particular y de carga pesada, transformándose en una vialidad de salida natural a través de la autopista México-Querétaro.

Dentro del Plan Rector de Vialidad y Transporte se consideró al Periférico Arco Norte como una vía primaria que enlaza en forma directa el oriente y poniente de la ciudad en la zona norte, y es aquí donde se genera una mayor movilidad de tránsito por ser de uso industrial y habitacional popular, y en donde la carga vehicular por las vías existentes fluye muy lentamente, sobre todo en las horas de mayor demanda.

#### II.4 TRANSPORTE

La movilidad de personas mediante el servicio de transporte público, hacia los centros de generación y atracción de viajes, transita por las rutas de autobuses y taxis de largo recorrido e intercambio al sistema masivo de transporte coincidente con la vía principal longitudinal y transversal a la que utiliza el Puente Vehicular Calzada Vallejo-Periférico Arco Norte.

Por su posición geográfica, así como por la importancia que tiene dentro de la estructura vial, estas arterias de enlace resultan de uso obligado para el vehículo particular y para las rutas de transporte colectivo de superficie que comunican principalmente con los puntos de origen en el cinturón exterior de la zona de análisis, con las estaciones del Sistema de Transporte Colectivo de media capacidad y el Metropolitano, permitiendo al usuario con esto el intercambio modal.

El equipamiento de transporte (estaciones) que coinciden con el corredor analizado y son atendidas por el transporte de superficie son:

- **Metropolitano Línea 5.** A partir de la estación terminal Politécnico a la estación La Raza en su correspondencia con la Línea 3
- **Metropolitano Línea 6.** La estación de paso Vallejo por su proximidad con la intersección.

Por el desmesurado flujo vehicular que circula a través de la red vial de la zona de análisis donde existe una buena cobertura en cuanto a las líneas de acceso.

principalmente aquellas rutas que se dirigen o parten de las estaciones del Sistema de Transporte Colectivo coincidentes con el corredor de penetración sur-norte, considerando como punto final al subcentro urbano Azcapotzalco o puntos posteriores, cuyos derroteros cubren principalmente las colonias y barrios consolidados dentro del entorno del área de influencia del subcentro de Azcapotzalco, así como las colonias establecidas después de la zona norte del subcentro urbano, dentro de la Delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal y Municipio de Tlalnepanitla en el Estado de México, se tienen rutas que cubren la movilidad regional a través de la intersección analizada.

## II.5 INVENTARIO DE USOS DE SUELO

En función del desarrollo urbano y para el acopio de los destinos de uso de suelo y equipamiento, se ha considerado el marco de incidencia mayor al descrito, que considera un radio de 500 m, es decir la cobertura será mayor en función a la traza urbana. El área de análisis será a partir de la intersección considerada en este proyecto y la cual da origen al puente vehicular Calzada Vallejo-Periférico Arco norte.

La intersección en análisis es parte fundamental de la movilidad del subcentro urbano de Azcapotzalco. Su importancia trasciende a nivel macro regional y no sólo a la Delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal y Tlalnepanitla del Estado de México que intercomunica.

Dentro de la mancha urbana que conforma la zona de estudio, se localiza hacia el Norte-Poniente de la Delegación Gustavo A. Madero, en los límites de Tlalnepanitla, operativamente y en función al uso de suelo predominante y como marco de las zonas de equipamiento y colonias habitacionales que dan origen al subcentro urbano de la zona, como se ve a continuación.

**EQUIPAMIENTOS** Zona de transferencia paradero estación Metropolitano Politécnico L-5, La Raza L-3 y Vallejo L-6

**COLONIAS** San José de la Escalera, Santa Rosa, San Felipe Estacola, y Ampliación Progreso Nacional, en el Distrito Federal; El Arenal, Las Palomas, San Bartolo Tenayuca, Casas Viejas, Izcalli Pirámide I y II, Ahuehuetes, Poder de Dios y Tabla Honda, en el estado de México.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO III MECÁNICA DE SUELOS****III.1 ANTECEDENTES**

El objetivo general de las investigaciones en materia de construcción que se realizan en un sitio es para determinar las condiciones geotécnicas del terreno que intervienen en el proyecto, diseño, costo y vida útil del programa ingenieril propuesto, o bien en el estudio de las condiciones de planes terminados o parcialmente terminados.

Antes de comenzar con el análisis de los métodos de exploración geológica es conveniente establecer una secuencia ordenada para realizar los estudios, lo cual se traduce en mayor rapidez, eficiencia y menor costo en las obras.

El costo del total de los estudios que se realizan en un sitio es relativamente bajo, del 0.5 al 1.5 % del costo global de una obra, por lo que no deben escatimarse gastos para hacer un estudio completo y lo más confiable posible, ya que una información insuficiente de las características del terreno trae como consecuencia un diseño inadecuado, que posteriormente representará un peligro serio por fallas en la obra.

Antes de proyectar una obra en un sitio determinado, es necesario realizar tres etapas de estudio:

- 1 Estudios preliminares
- 2 Estudios de detalle
- 3 Estudios durante y después de la construcción

Cada obra requiere una planeación particular de etapas, con sus objetivos y actividades a realizar. En la tabla 3.1 se muestran las etapas básicas de estudio. Es conveniente realizarlas en el orden mostrado; sin embargo, influyen diversos aspectos, como el tipo de obra, su importancia, aspectos financieros o las condiciones geológicas, entre otros. Por ejemplo, si la obra es muy pequeña y con una geología sencilla, realmente no se justifican los estudios detallados (etapa II, lo que ocasiona que después de la etapa I se pase directamente a la etapa III).

A continuación se presenta en la tabla 3.1 un resumen de los estudios preliminares

TABLA 3.1 DESARROLLO DE LAS ETAPAS DE EXPLORACIÓN

ETAPA	ESTUDIO	DESARROLLO		
I	Reconocimiento o preliminar	Topografía	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilación de la información disponible</li> <li>Fotogrametría</li> <li>Recopilación bibliográfica y cartografía</li> <li>Fotogeología</li> <li>Estudio de sensores remotos</li> <li>Otros</li> <li>Recorridos de campo</li> </ul>	
		Geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fotogrametría</li> <li>Levantamientos topográficos</li> </ul>	
II	Exploración e investigación detallada	Topografía	<ul style="list-style-type: none"> <li>Levantamientos topográficos</li> </ul>	
		Geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Levantamientos geotécnicos</li> <li>Geología estratigráfica y estructuras</li> <li>Reconocimiento de fallas, fracturas, juntas</li> <li>Discontinuidades</li> <li>Estratificación</li> <li>Discordanancias</li> </ul>	
II	Exploración e investigación detallada	Geotecnia	Levantamientos geotécnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Levantamientos geotécnicos</li> <li>Levantamientos geodinámicos activos</li> <li>Geología</li> <li>Geología estructural y estructuras</li> <li>Reconocimiento de fallas, fracturas, juntas</li> <li>Discontinuidades</li> <li>Estratificación</li> <li>Discordanancias</li> </ul>
			Geofísica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geofísica</li> <li>Localización de fallas y/o estructuras</li> <li>Localización de niveles freáticos</li> <li>Estratigrafía</li> <li>Calidad de las materiales</li> </ul>
		Perforaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muestras de suelos a diferentes profundidades</li> <li>Recuperación de núcleos de rocas y muestreo integral</li> <li>Inspección de las paredes de los pozos (telescopio, fotografía)</li> </ul>	
		Excavaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muestras de suelo, de rocas y de rocas</li> <li>Estratigrafía</li> <li>Caracterización de las masas</li> <li>Observación de fallas y fracturas</li> <li>Resistencia y deformabilidad</li> </ul>	
		Pruebas de campo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permeabilidad</li> <li>Estado de esfuerzos efectivos</li> </ul>	
		Pruebas y estudios de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Propiedades físicas</li> <li>Propiedades mecánicas</li> <li>Mineralogía y petrografía</li> <li>Estudio de la capacidad de resistencia al corte</li> </ul>	
		III	Construcción	Geotecnia
IV	Operación		<ul style="list-style-type: none"> <li>Instrumentación de la obra y monitoreo</li> <li>Pruebas de monitoreo</li> <li>Mantenimiento de la obra en operación y rehabilitación</li> </ul>	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### III.2 ESTUDIOS PRELIMINARES

Los estudios preliminares que deben realizarse durante la etapa de anteproyecto consisten esencialmente en un análisis de la información bibliográfica y cartográfica que haya sobre el área del proyecto y de visitas de reconocimiento al sitio, con el fin de obtener los datos que permitan definir los lugares más adecuados para la construcción de la obra, con base en las condiciones geológicas y geotécnicas adecuadas.

Esta etapa por lo regular no requiere de grandes erogaciones, pero es importante que en ella colabore un geólogo con experiencia en geotecnia, ya que estos trabajos servirán como pauta en la planeación de estudios posteriores. Las actividades que comúnmente se realizan en esta etapa son:

- **Recopilación de la información.** Es necesario obtener la mayor cantidad de información, derivada de estudios desarrollados en el área o cercanos a ella; generalmente se consigue en las dependencias u organismos federales o estatales, según sea el caso. Esta información deberá analizarse y sintetizarse para obtener datos generales relacionados con topografía, hidrología (superficial y subterránea), litología, estratigrafía, fenómenos de geodinámica y problemas geotécnicos característicos de la región.
- **Inspección de las fotografías aéreas e imágenes de satélite existentes.**
- **Reconocimiento preliminar.** Es la inspección del sitio que permite evaluar la información recopilada previamente, la cual se complementa con observaciones de campo para determinar la factibilidad de construcción de obras civiles y fundamentar el programa detallado de exploración.

El reconocimiento también proporcionará información acerca de la accesibilidad de los recursos humanos y de los materiales que se requieren, del marco geológico general, de la identificación de las estructuras geológicas importantes, localización de discontinuidades (fracturas, fallas, planos de estratificación, discordancias), conocimiento de la geomorfología, los procesos de geodinámica interna (sismicidad, vulcanismo), geodinámica externa (erosión, movimientos en masa del terreno), la hidrología superficial y subterránea, y la existencia de materiales de construcción.

El alcance de este primer estudio en la región dependerá de la importancia de la obra y de las características del subsuelo, algunas veces basta el estudio preliminar para desechar o aceptar el sitio elegido para la construcción.

### III.3 ESTUDIOS DE DETALLE

Siempre precedidos por los estudios preliminares constituyen la etapa II designada Exploración e investigación detallada, sin embargo, su uso no se restringe al sitio de la

investigación, también resultan útiles en la etapa de construcción y operación de la obra. La finalidad de esta etapa es lograr un conocimiento geológico, lo más exacto posible, del sitio y sus alrededores.

La profundidad de los trabajos de investigación en esta etapa depende de la importancia y extensión de la obra. El informe final de los estudios debe contener la descripción de las características geotécnicas del terreno o macizo rocoso, para fines de diseño.

Actividades que se realizan durante un estudio detallado:

- Elaboración de un mapa geológico-geotécnico de la superficie del terreno en la zona de construcción de la obra, a escala adecuada, auxiliado de una fotointerpretación detallada, a fin de presentar toda la información correspondiente al levantamiento geotécnico en la tabla 3.1.
- Mapeo geotécnico del subsuelo. Éste se realiza con el auxilio de técnicas directas para conocer la distribución de las unidades litológicas y sus características geológicas e ingenieriles (isopacas, isopiezométricas).
- La información recabada de las actividades anteriores debe procesarse e interpretarse de manera correcta para que sea de máxima utilidad en el diseño.

Existe una gran variedad de técnicas para lograr un estudio detallado completo; sin embargo, su selección y programación adecuadas ayudará a mantener los costos bajos de exploración, pues la falta de información o mala calidad dan como resultado un diseño inadecuado que ocasionaría fallas peligrosas, problemas constructivos y económicos, o en el peor de los casos, mal funcionamiento de la obra.

#### **III.4 ESTUDIOS DURANTE Y DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN**

En esta etapa se realizan levantamientos geológicos adicionales, así como estudios de mecánica de suelos y de rocas, si son necesarios. Estos trabajos en ocasiones son una confirmación de los estudios preliminares, o bien pueden aportar nuevos y valiosos datos que obligan a modificar el diseño o el procedimiento constructivo.

Actividades que se desarrollan durante esta etapa:

- Levantamientos geológicos y geotécnicos de la obra: excavación de túneles, trabajos de limpia que incluyen desmorites, remoción de escombros y descubrimiento de las rocas sanas; apertura de cortes y trincheras, explotación de bancos de materiales, etc., deben realizarse durante el proceso de la obra.
- Mapeo geotécnico superficial y del subsuelo, de los cuales se elaboran planos y secciones geotécnicas con información actualizada completa.

- Muestreo para realizar pruebas de laboratorio, así como pruebas *in situ* en zonas de interés o con problemas.

En ocasiones las investigaciones se traslapan en las etapas II y III, debido a que algunos estudios se realizan durante la construcción de la obra, ya que es más fácil obtener muestras para pruebas de laboratorio cuando las áreas de desplante están abiertas y tienen mejor acceso.

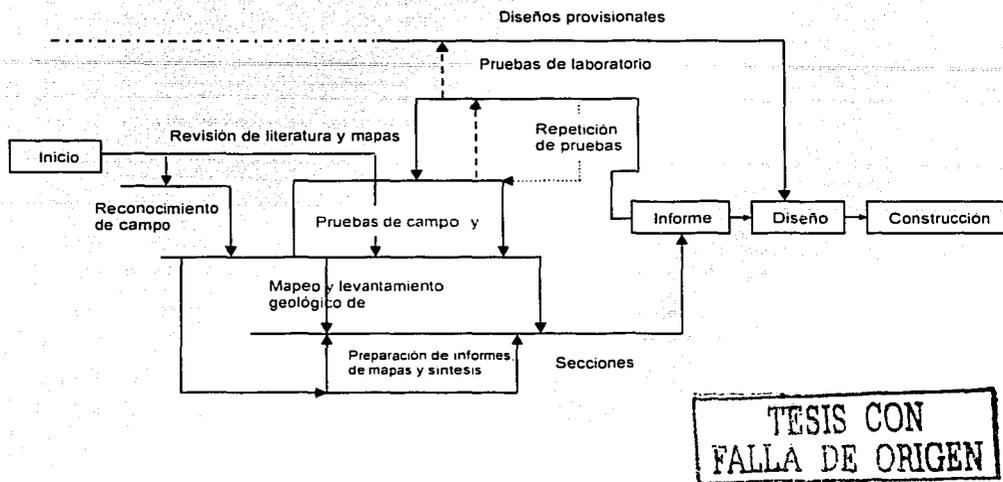
### III.5 PLANEACIÓN

Las tres etapas deben desarrollarse en el orden secuencial indicado, para realizar un trabajo eficiente y a bajo costo. Esto se logra mediante planes con rutas críticas de acuerdo con las condiciones geológicas del sitio y las mejores técnicas que permitan evaluar la información y prever los posibles problemas geotécnicos. Cada sitio requiere de una ruta crítica, la cual debe modificarse según los avances del trabajo y la información geológica que vaya obteniéndose. Por ejemplo, la tabla 3.2 es un ideal generalizado de una ruta crítica durante las etapas I y II para una presa de tamaño medio o grande, donde el aluvión en el cauce o la cubierta superficial no cubra totalmente el sitio. En este caso, la investigación se desarrollará principalmente durante el mapeo geológico ingenieril.

La investigación comienza en gabinete con la revisión de fotografías aéreas, literatura y mapas geológicos y topográficos, seguida por reconocimientos de campo realizados de manera conjunta por ingenieros geólogos y geotecnistas. Los trabajos de campo comienzan con un mapeo geológico y simultáneamente con la investigación del subsuelo a través de perforaciones, geofísica (sísmica y eléctrica), socavones y pozos a cielo abierto. Los pozos a cielo abierto y las trincheras se abren para complementar el levantamiento geológico y definir alguna zona de contacto, falla o algunas otras discontinuidades (estratificación, discordancias y fracturas). Posteriormente, las muestras colectadas se envían al laboratorio.

Los problemas geotécnicos específicos del sitio deben ser profunda y claramente investigados. Una vez que se obtiene toda la información necesaria y cada resultado ha sido probado, se prepara el informe final.

TABLA 3.2 RUTA CRÍTICA GENERAL PARA INVESTAGACIONES



### III.6 DATOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS PARA LA INGENIERÍA CIVIL

Toda información de carácter geológico es necesaria para la realización de una obra civil, que a su vez sirve para iniciar el estudio geotécnico del sitio.

Los datos geológicos son necesarios para el desarrollo del anteproyecto, durante el cual se seleccionan en gabinete, uno o varios sitios para la construcción. En esta etapa los datos geológicos se obtienen de fotografías aéreas, planos geológicos; y de toda la información bibliográfica geológica o geotécnica se obtiene de la inspección de campo y en la etapa correspondiente a estudios de detalle; los datos geológicos se obtienen de levantamientos, perforaciones, pozos a cielo abierto, socavones, fotografías aéreas, planos geológicos, de toda la información bibliográfica geológica o geotécnica existente y de la aplicación de algún método geofísico. Durante la construcción, ya sea al iniciar los trabajos de limpia o excavación, o bien, cuando está avanzada la obra, se requiere información geológica. Se debe tener en cuenta que en el caso de obras subterráneas profundas, nunca se puede decir que un sitio está perfecta o completamente investigado.

Finalmente, cuando la obra está en operación, también serán necesarios datos geológicos actualizados. Para garantizar el éxito en su obtención, es preciso contar con técnicos experimentados en trabajos de campo y propiciar durante todas las etapas de exploración geológica una íntima colaboración entre el geólogo, el geotécnico y el

proyectista. De la omisión o mala interpretación de algunos datos geológicos resultaría un estudio geotécnico erróneo, atraso en la construcción o encarecimiento de la obra y en el peor de los casos, en el fracaso constructivo.

A continuación se presenta la tabla 3.3 donde se muestran los datos geológicos requeridos, de acuerdo con el tipo de obra y las necesidades impuestas al terreno por la misma:

**TABLA 3.3 DATOS GEOLÓGICOS REQUERIDOS EN OBRAS CIVILES**

DATOS GEOLÓGICOS	TIPO DE OBRA										
	PRESA		Obra subterránea	Excavación a cielo abierto	Vía terrestre	línea de transmisión	Canal	Puente	Puerto	Aeropuerto	Cimentación
	Cortina	Vaso									
1. LITOLOGÍA											
1.1 SUELOS											
Espesor	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
Extensión	RE	R	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Clasificación	RE	R	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Composición	E		EC	E	E	E	E	E	E	E	E
Textura	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
Estructura	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
Porosidad	E	E	E	E	E	E	E	E	EC	EC	EC
Permeabilidad	E		E	EC	E	E	EC	E	E	EC	EC
1.2. ROCAS											
Profundidad roca sana	EC			EC	E	E	E	E	E	E	E
Clasificación	RE	R	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Textura	RE		RE	RE	R	E	E	E	E	R	E
Estructura	RE		RE	RE	RE	RE	RE	RE	E	E	RE
Porosidad	RE	R	RE	RE		E	E	E	E	E	EC
Permeabilidad	REC	RE	RE		E	E	EC	EC	E	E	EC
Recuperación	E		E				E	E	E		E

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Indice de calidad de la roca (RQD)	E		E					E	E		E
2. DISCONTINUIDADES											
2.1 FALLAS Y JUNTAS (DIACLASAS)											
Presencia	E		EC	RE	RE	R	R	E	E		EC
Tipo	REC	RE	REC	EC	EC		E	R	RE	R	R
Frecuencia				REC	REC	R	R				
Rumbo y echado	RE	E	REC					REC	RE	R	REC
Características	RE	E	REC	REC	REC		REC	RE	RE		REC
- amplitud	RE		PEC	REC	REC		RE				E
- relleno				PEC	REC		PE				
- paredes	PE	RE	RE					PE		R	R
2.2 PLIEGUES											
Presencia	REC	RE	REC	REC	REC	RE		RE		R	RE
Intensidad	P	RE	REC	REC	REC	E	RE	RE		R	RE
Tipo	EC			REC	REC	RE	RE				
Rumbo			R								
2.3 DISCORDANCIAS											
Tipo	RE	E	EC	PEC	REC			RE		E	
Magnitud	EC							E			
3. ESTRATIGRAFÍA											
Formaciones o unidades litológicas	R	R	RE	RE	RE	R	RE	RE	E	RE	E
Espesores	RE		E	E	E	E	E	E	EC	E	E
Distribución	RE	R	REC	REC	RE	R	RE	RE	REC	RE	RE
Posición en la secuencia entre diferentes unidades	REC	R	EC	EC	R			E	E		E
Ambientes de depósito	R		E	E	R		E	E	E		E
4. GEOMORFOLOGÍA											
Genesis de las formas de relieve	RE	RE	R	RE	R		R		R		
Evolución de las formas de relieve	RE	RE	R	RE	R		R	RE	RE		
Interrelación de las formas de relieve con otros accidentes	REC	RE	REC	REC	REC	R		RE	RE		RE

Topografía	RE	RE	REC	REC	REC	R		RE	RE		RE	
Carsticidad	RE	R	RE	R	RE	RE	R	RE	R	RE	R	
5. HIDROLOGÍA												
Flujo de agua superficial	R	R	R	RE	RECO			RE	RE	RE	R	RE
5.1 ACUÍFEROS												
Niveles piezométricos	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO			ECO	EO	ECO	E	ECO
Artesianismo y manantiales	RE	RE	RE	RE	RE			RE		RE		R
Composición del agua	E		EC	E				E	E	E		E
Temperatura del agua	E		EC	E								E
Flujo de agua subterránea	EC	EO	ECO	ECO	EC			EC	EC	ECO	E	ECO
6. GEODINÁMICA EXTERNA												
Erosión e intemperismo	REO	RE	REC	REC	RECO	RE	REC	REC	REC	REC	RE	OC
Transporte	RE	RE	O	RE	RE	R	O	O	O	O	R	
Acumulación		EO		E	E		R	R	REC	R	R	
Movimiento en masa del terreno	R	R		R	R	R				C		
- Solifluxión	E		R	ECO	ECO	E	P	R				REC
- Creep (flujo plástico)	E	E		ECO	ECO	E	ECO	EC				REC
- Deslizamientos	E	E	EC	ECO	ECO	E	ECO	EC	R			O
Perturbaciones							ECO	EC	RE			REC
Cíclicas	R				R	R						O
7. GEODINÁMICA INTERNA												
Vulcanismo	R	R	RE	R		RE	R	R	R			P
Sismicidad y focos sísmicos	P	R	R	P	R			RE	P			E
Esfuerzos tectónicos	R	R								RE	RE	EC
Terreno expandible o extruible	E		E	E	R							
Terreno explosivo			EC	EC	EC							
Presencia de gases o vapores y gradiente geotérmico			ECO									

B. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN											
Agregados	R		R	R	R	R	R	R	R	R	RE
Enrocamientos	R			R	R					RE	
Suelos finos	R				R						R
Calidad de los materiales	E		E		E	E	E	E	E	E	E
Volumen de los materiales	E		E		E			E	E	E	
9. MODIFICACION ES DEL MEDIO NATURAL DEBIDAS A LA ACCIÓN DEL HOMBRE	CO	CO	CO	CO	CO			CO	CO	CO	CO

Datos geológicos que deben obtenerse:

- R En la selección del sitio durante el reconocimiento preliminar
- E Durante la exploración del sitio de construcción
- C En la etapa de construcción de la obra
- O Durante la operación de la obra

### III.6.1 TRABAJOS DE CAMPO

#### Exploración y muestreo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para determinar la estratigrafía y características de los materiales del subsuelo, se ejecutaron sondeos exploratorios, cuya ubicación se definió considerando las limitaciones de espacio por la presencia del Acueducto de Guadalupe, línea de 20" de agua potable, el río de Los Remedios y la topografía del lugar; se ejecutaron en total ocho sondeos.

Los sondeos se realizaron mediante la prueba de penetración estándar: (SPT); las muestras que se obtuvieron estaban alteradas. En el sondeo (S-1) se utilizó un barril con broca de diamante, para obtener núcleos de roca. El procedimiento de la prueba de penetración estándar SPT se complementó con una broca triónica para determinar la resistencia de los materiales.

La referencia topográfica se tomó con base en una planta topográfica que proporcionaron las autoridades del Distrito Federal, mediante la D.G.O.P.; con la cual se realizó la referenciación topográfica de los sondeos practicados y el levantamiento de un perfil que partió de una elevación arbitraria de 100 m.

### III.6.2 TRABAJOS DE LABORATORIO

#### Ensayes de laboratorio

Con las muestras alteradas obtenidas se practicaron ensayes manuales para su identificación y clasificación preliminar. Posteriormente, en muestras seleccionadas, se efectuaron ensayes de límites de plasticidad y de granulometría. Los núcleos de roca únicamente permitieron la identificación de la roca, ya que correspondía a fragmentos empacados en una matriz fina.

### III.6.3 RESULTADOS OBTENIDOS

#### Estratigrafía y propiedades

Con la información recabada en las etapas descritas, se configuró la estratigrafía en el cruce con apoyo de las columnas estratigráficas en cada sondeo, que se presentan en las columnas estratigráficas 2 a 9, respectivamente. En planta, se presenta la posición de los posibles apoyos de la estructura, observándose que quizá sería necesario reconsiderar la posición de éstos, incluyendo los estribos, para tomar en cuenta la configuración real del terreno y las interferencias mencionadas.

Respecto al perfil estratigráfico, debe considerarse que se obtuvo de la información de los sondeos S-1, S-2, S-8, S-3, S-4 y S-5.

La estratigrafía del sitio puede describirse como sigue:

Superficialmente se detectaron rellenos de materiales heterogéneos, incluyendo los procedentes de demoliciones (cascajo), con espesores variables, como se indica en la siguiente tabla:

SONDEO Núm.	ESPESOR DE RELLENO (m)
S-1	1.90
S-2	9.80
S-3	0.50
S-4	3.40
S-5	12.30
S-6	6.60

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

S-7	5.80
S-8	7.90

Como se observa en la tabla anterior, los espesores de rellenos son muy variables, encontrándose incluso en los lados del río, como lo indican los sondeos S-1 y S-5.

Los sondeos en los estribos S-1 y de PEMEX, el acueducto se efectuaron sobre la vialidad existente, evitando la interferencia de los ductos y las líneas de agua potable. Como ya se señaló, se detectaron rellenos con espesor de 1.9 y 12.3 m. A continuación se descubrieron materiales muy resistentes y compactos, identificados como mezclas de grava y arena con finos limosos, así como fragmentos de roca aislados. Las gravas y fragmentos proceden de roca de origen volcánico, de forma redonda, por lo que constituyen una formación de tipo aluvial. Su contenido natural de agua es del orden del 10%, el contenido de finos fluctúa entre 10% y 40% y en la SPT en general se registraron más de 50 golpes. En el sondeo S-1 y S-5 se alcanzaron profundidades de 19.9 y 21.67 m.

En los sondeos en el cauce del río, subyacentes a los rellenos citados, se detectaron depósitos de materiales friccionantes constituidos por limos, arenas y gravas, que cubren espesores de 2 a 5 m, con excepción del sondeo S-3 en el cual no se detectó ninguno.

Estos materiales registraron de 10 a más de 50 golpes en la SPT. En los sondeos S-6, S-7 y S-8 se detectó un estrato a unos 11.0 m de profundidad que registró de 10 a 20 golpes en la misma prueba con un contenido natural de agua del 20 al 40 %, cuando en promedio dicho contenido debe ser entre el 15 al 20 %.

Finalmente, a una profundidad de 23.0 a 24.0 m, en la boca de los sondeos se detectó una formación muy resistente, con más de 50 golpes en la SPT, constituida por una arena limosa gris, con grava y fragmentos aislados de roca. Su contenido natural de agua varía entre el 10 y el 15 %, y el contenido de finos, de naturaleza limosa, entre el 10 y el 30 %.

### III.7. MARCO GEOTÉCNICO

De acuerdo con las características geotécnicas del sitio ya descritas y con el tipo de estructura por construir, todo indica que la cimentación a la que deberá recurrirse será de tipo profundo, mediante el empleo de pilotes de fricción hincado a 18.0 m de profundidad y en estas condiciones y de acuerdo con los diferentes sitios en que se ubicaron los sondeos, las profundidades mínimas de desplante recomendables con respecto a la superficie actual del terreno se indican a continuación:

SONDEO No.	PROFUNDIDAD MÍNIMA (m)
S-1 Y S-4	18.0
S-2, S-3 Y S-8	19.5
S-5, S-6 Y S-7	18.5

La capacidad de carga se puede estimar conforme a la ecuación propuesta en las Normas técnicas Complementarias para diseño y construcción de cimentaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

$$C_p = (P_v \bar{N}_q^* F_R + P_v) A_p$$

Donde:

$C_p$  = Capacidad de carga por fricción, ton

$A_p$  = Área transversal del pilote, m<sup>2</sup>

$P_v$  = Presión vertical debida al peso del suelo a la profundidad de desplante del pilote de fricción, ton/m<sup>2</sup>

$\bar{P}_v$  = Presión vertical efectiva a la misma profundidad, ton/m<sup>2</sup>

$N_q^*$  = Coeficiente de capacidad de carga, que depende del ángulo de fricción interna  $\phi$ , del suelo de apoyo y de la longitud friccionante del pilote ( $L_e$ ) en el manto resistente

$F_R$  = Factor de resistencia

La capacidad de carga calculada así, deberá corregirse para tomar en cuenta el factor de escala  $F_{re}$  mediante la siguiente ecuación:

$$F_{re} = [(B + 0.5) / 2B]^n$$

Donde:

$B$  = Diámetro del pilote, m

$n$  = Exponente igual a 3, para suelo denso

Para un peso volumétrico medio del suelo de 1.8 ton/m<sup>3</sup> y un valor representativo del ángulo de fricción  $\phi=33^\circ$ , en la tabla 3.1 se muestran los valores de las capacidades de carga calculadas para diferentes diámetros de pilotes y profundidades de desplante.

Para el dimensionamiento del pilotes, las descargas al subsuelo se incrementarán por un factor de carga de 1.4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TABLA 3.3

DIÁMETRO, m	CAPACIDAD DE CARGA $C_p$ , en toneladas		
	$D_r = 11$ m	$D_r = 13$ m	$D_r = 15$ m
0.8	125	150	175
1.0	140	165	190
1.2	160	190	220
1.5	190	220	250

Asentamientos: Se considera que éstos serán fundamentalmente de tipo elástico, lo que significa que ocurrirán durante la construcción del puente. Para la estimación de dichos asentamientos se puede partir de la siguiente expresión:

$$C = (1 - n^2) (p/E)B$$

Donde:

C= Deformación vertical bajo el pilote, cm

N= Coeficiente de Poisson = 0.3

P= presión aplicada,  $\text{kg}/\text{cm}^2$

E= Módulo elástico del terreno de cimentación,  $\text{kg}/\text{cm}^2$

B= Diámetro del pilote, cm

Por ejemplo, para un pilote de  $B = 40$  cm,  $P = 20$   $\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $E = 600$   $\text{kg}/\text{cm}^2$ , el asentamiento resulta ser de 0.00076 m, valor de poca significación práctica.

### III.8 SELECCIÓN DEL TIPO DE CIMENTACIÓN

El tipo de cimentación más adecuada para una estructura dada depende principalmente de varios factores, como su función, las cargas que debe soportar, las condiciones del subsuelo y el costo de la cimentación comparado con el costo de la superestructura. Debido a las relaciones existentes entre estos factores, usualmente pueden obtenerse varias soluciones aceptables para cada problema de cimentación, por tanto, el criterio juega un papel muy importante en la ingeniería de cimentaciones.

Para elegir el tipo de cimentación, se sugieren al ingeniero los siguientes pasos:

1. Obtención de información aproximada respecto a la naturaleza de la superestructura y de las cargas que se van a transmitir a las cimentaciones.
2. Determinación de las condiciones del subsuelo en general.

3. Considerar brevemente cada uno de los tipos más comunes de cimentación, para decidir si puede construirse en las condiciones prevaletientes; si hay capacidad para soportar las cargas necesarias y experimentar asentamientos perjudiciales. En esta etapa es posible eliminar los tipos de cimentación inadecuados.
4. Realizar estudios más detallados y un anteproyecto con alternativas más prometedoras. Para lograrlo, es necesario tener información adicional respecto a las cargas y condiciones del subsuelo y, generalmente, deberán extenderse lo suficiente para determinar el tamaño aproximado de las zapatas, pilas, pilotes, así como su longitud y número suficiente. También pueden calcularse estimaciones más certeras de los asentamientos, para predecir con mayor precisión el comportamiento de la estructura.
5. Preparar una estimación de costo por cada alternativa viable de cimentación y elegir la que represente la más favorable entre funcionamiento y costo.

En los pasos 3 y 4, se requiere el conocimiento del comportamiento probable de cada tipo de cimentación por cada tipo de subsuelo.

El principal objetivo de este trabajo es lograr que los esfuerzos transmitidos a la base de la estructura se realicen de manera adecuada al suelo de apoyo.

Para obtener resultados satisfactorios se consideraron los siguientes factores:

1. Las descargas propias de la estructura, con el cálculo preliminar del peso de la cimentación, así como las cargas vivas de operación y uso propios de la construcción.
2. Las condiciones del subsuelo para definir, de manera compatible con el costo, los estratos de suelo más adecuados para aceptar los esfuerzos transmitidos por la estructura.
3. El costo de la cimentación, comparado con el costo de la estructura y superestructura, acorde con la excavación y el procedimiento constructivo de la misma.

De acuerdo con las características del subsuelo y por los análisis efectuados, se recomienda el empleo de pilotes como el tipo de cimentación más apropiado para resolver el problema del Puente Vehicular Calzada Vallejo y Periférico Arco Norte.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO IV CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIÓN PROFUNDA Y SUPERFICIAL

Durante el proceso constructivo de la cimentación profunda (hincado de pilotes y cajones de cimentación) se presentaron mínimas dificultades, esto se debió al levantamiento detallado del proyecto de obras inducidas.

### IV.1. FABRICACIÓN

**Pilotes:** Son elementos estructurales que se hincan o cuelan en el terreno para transmitirle cargas a mayor profundidad y/o modificar las características del suelo. En función del trabajo de transmisión de carga al terreno, los pilotes se clasifican en pilotes de punta, de fricción o combinados.

**Pilotes de punta.** Se hincan hasta la profundidad en que se encuentra un estrato firme, al cual le transmiten la carga.

**Pilotes de fricción.** Transfieren al suelo la mayor parte de su carga por fricción lateral.

Los pilotes colocados para soportar las cargas que trasmite la estructura del puente, fueron diseñados para trabajar en forma vertical, transmitiendo la carga, a su vez, mediante fricción generada en todas sus paredes y tomando algo de carga en la punta, en donde el sistema de pilotes para el puente se denomina de punta-fricción.

Para la fabricación de los pilotes, primero se realizó un levantamiento topográfico con el cual se determinó su ubicación y sus zapatas de cimentación correspondientes. Con el fin de evitar traslados innecesarios y abatir costos, se seleccionó un lugar anexo al sitio de hincado, para luego fabricar las camas de colado.

Para construir la base de las camas, se mejoró el terreno, escarificándolo 15 cm; posteriormente, se rellenó de material limo-arenoso (tepetate), compactado al 90 % de su P.V.S.M., después, se coló al final una plantilla pobre de 5 cm de espesor con una resistencia  $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ .

En esta cama se colaran los pilotes armados previamente con 8 varillas del No. 8 (1") y 4 varillas del No. 6 ( $\frac{3}{4}$  ") adicional en la punta, con estribos del núm. 3 @ 10 cm en la punta, al final y al centro del pilote, @ 20 cm.

Los pilotes fueron armados en un solo tramo y se armó con inicio de punta y terminación con una placa de acero de  $\frac{3}{4}$ " y de 40 x 40 cm de dimensión para la placa superior de acuerdo a la longitud proyectada.

El armado se colocó en la posición indicada cumpliendo estrictamente con los diámetros de varillas, así como su separación, debidamente asegurado para evitar

desplazamientos durante el colado; además, se utilizaron separadores de concreto, para garantizar los recubrimientos del concreto estipulados en el proyecto.

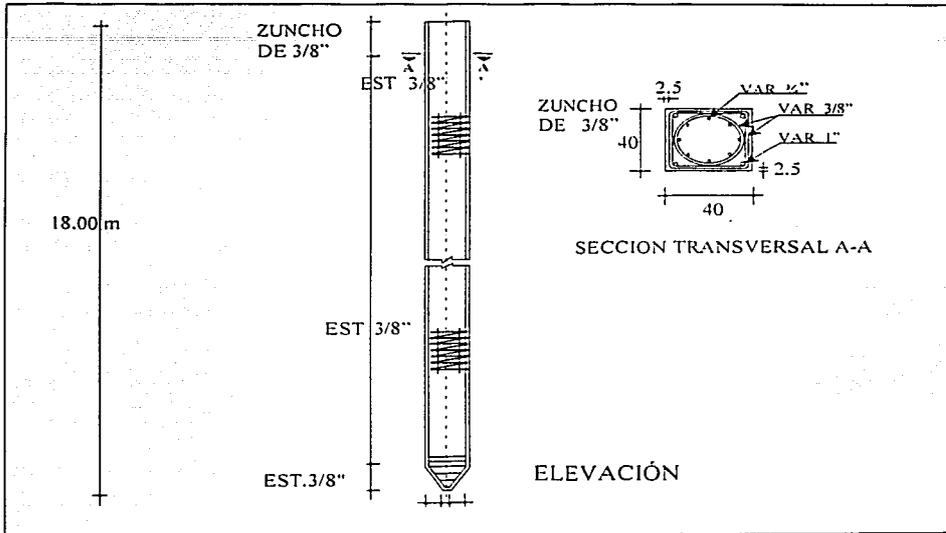


fig. IV.1.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Una vez que se coló la cama inicial se colocó la cimbra del pilote, la que se construyó de lámina de acero y perfil P.T.R. para depositar el concreto hidráulico. Dicha cama

debió contar con una resistencia de empuje del concreto, así como la presión ejercida por los vibradores del concreto a la hora del colado.

Posteriormente, cuando se retiró la cimbra del primer colado, las caras de los pilotes (hacia el interior de las camas), sirvieron de cimbra para los siguientes colados de pilotes y así sucesivamente hasta formar una nueva cama, pero esta vez hecha de pilotes.

Con el objeto de que los pilotes ya colados no quedaran unidos entre sí, antes se colocó una membrana de plástico, que bien podría ser también de parafina o diesel quemado.

Según las especificaciones del proyecto, cada cama constó de tres niveles de pilotes (de 4.5 ton cada uno), y cada nivel se formó con 15 pilotes.

Los pilotes se colocaron de una sola pieza en forma horizontal y monolítica, además, se debían seguir las especificaciones para agregados, colado y curado, ya que de no cumplir con los requisitos de resistencia mínima, éstos se desecharían.

El concreto para los pilotes fue el resultado de una mezcla plástica y uniforme con resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ , y revenimiento de  $10 \text{ cm} \pm 2.5 \text{ cm}$  marcados en el proyecto.

Al llegar la revolvedora a la obra se verificaba el revenimiento, el cual debería encontrarse en el rango de  $10 \text{ cm} \pm 2.5 \text{ cm}$ .

El tiempo máximo transcurrido entre la salida de la revolvedora de la planta y su llegada a la obra, era de una hora y media, después de este periodo, el concreto empieza su fraguado inicial, y de comprobarse éste, dicha mezcla se rechazaba.

La revolvedora se descargaba en canchales de lámina, ensamblados a base de pedazos de tambos, por los que se hacía llegar el concreto hasta los pilotes.

El vibrado del concreto se realizó con vibrador eléctrico y de gasolina, para expulsar el aire contenido en él, y también evitar la segregación a través del canalón.

Los pilotes se marcaron directamente en el concreto antes de endurecer con un número, con la doble finalidad de saber en dónde se encontraría cada pilote: primero, si las pruebas a las que se sometieron no fueron satisfactorias, y segundo, porque se tuvo un control detallado de la localización de todos los pilotes.

Después de que se colaron los pilotes, se curaron con un componente de derivados parafínicos y solventes asfálticos, que al aplicarse sobre los pilotes recién colados, formaron una película para evitar la evaporación del agua; el curado se realizó tan pronto como desapareció el agua libre sobre la superficie del pilote, es decir al desaparecer el brillo.

Las ventajas de este curado fueron asegurar la resistencia proyectada del concreto, reduciendo la posibilidad de agrietamientos y la pigmentación roja, la cual permitió identificar las áreas de aplicación.

Para el manejo del pilote, se colocaron ganchos de izaje a un tercio de su longitud, formados de varilla y localizados en puntos de equilibrio en los que los esfuerzos a los que se sujetó el elemento fueron mínimos; por especificaciones del proyecto, los pilotes no se maniobraron sino hasta que alcanzaron el 85 % de su resistencia.

Si algún pilote hubiera presentado grietas críticas, indicativas de que se sujetó a esfuerzos excesivos o que se manejó fresco, se hubiera rechazado, como en los casos en que se presentaron despostillamientos en los costados del pilote (cuando no se despegaban con cuidado), se procedió a reparar éstos con colado en el mismo lugar, para lo cual se descubrió hasta la zona del acero de refuerzo y se aplicó un aditivo que uniera el concreto viejo con el nuevo.

En el supuesto de ocurrir estas anomalías y en caso de que ya se hubiera hincado el pilote, las consecuencias resultantes hubieran sido: el concreto habría sido atacado fundamentalmente por la materia orgánica y por el agua que hubiera penetrado, lo que produciría reacciones químicas que, primero aparecerían como manchas y con el tiempo crearían formaciones como estalactitas. Una vez avanzada la corrosión, el acero de refuerzo aumentaría su volumen y provocaría un agrietamiento en el concreto que podría terminar en desprendimiento del recubrimiento, con lo que quedaría al descubierto y se aceleraría aún más el proceso de corrosión; posteriormente, se reduciría su sección, debilitándose y rompiéndose.

Además de medir el revenimiento del concreto en cada colado, también se obtuvieron muestras del concreto, con el fin de realizar posteriormente las pruebas de resistencia en el laboratorio.

Durante la construcción de los pilotes se obtuvieron tres muestras (cilindros) por cada mezcla de concreto y se ensayó un cilindro a los 3 días, otro a los 7 y el último a los 28 días.

En caso de que los reportes de laboratorio hubieran indicado baja resistencia y se hubieran probado dichos pilotes, se habrían rechazado.

También se realizaron pruebas al acero, con tres probetas de cada lote de varillas por usar, como muestras, las que se sometieron a pruebas destructivas para acero de refuerzo. El acero de dicho lote no se utilizó sino hasta que los resultados de las pruebas se aprobaron. En el puente se utilizaron un total de 366 pilotes de 40 x 40 cm y longitud de 18.0 m c/u.

El tiempo promedio de fabricación de los pilotes fue de 6.6 pilotes por día.

## IV.2. PERFORACIÓN

Con objeto de guiar y facilitar el hincado de pilotes, además de evitar movimientos excesivos en la masa del suelo, se realizó una perforación previa con extracción de

material, para reducir los desplazamientos durante el hincado inicial del pilote, el proyectista con base en los estudios previos realizados determinó lo siguiente:

- Deberá determinarse con exactitud la ubicación de los puntos donde se hincarán los pilotes.

Antes de iniciar la perforación deberá verificarse la posición del pilote y la zapata, dicha posición no variará en más de 2 cm con respecto a la proyectada.

- El equipo deberá tener la capacidad suficiente y la herramienta adecuada.
- De acuerdo con las condiciones estratigráficas del subsuelo en donde quedará localizado el Puente la perforación se realizará de conformidad con lo siguiente:
  - A. La perforación será de 6.0 m en los apoyos 1, 2-3, 4-5, 10-11, 12-13, 14-15 y 16. En los apoyos 6-7 y 8-9 podrá ser más profunda.
  - B. Cuando la perforación se realice a una profundidad menor o igual a 6.0 m, ésta será del 80 % del área transversal del pilote, o sea 32 cm, y cuando se realice a una profundidad mayor a 6.0 m, será del 60 % del área transversal del pilote (24 cm).

La perforación quedará inscrita en la sección del pilote con una tolerancia de  $\pm 2$  cm.

- Durante la perforación deberá verificarse su verticalidad, además de cumplir con todas las dimensiones del proyecto en relación con la profundidad.
- El tiempo máximo admisible entre la perforación y el hincado es de 36 hrs., de no ser así el terreno se recupera.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### IV.3. HINCADO

El hincado de los pilotes de concreto debe efectuarse de modo que garantice su integridad estructural y logre la integración planeada con el suelo, de manera que cumpla con su cometido.

La maniobra de los pilotes se realizó mediante una grúa con capacidad suficiente para soportar su peso, con los ganchos de izaje. La maniobra no se llevó a cabo sino hasta que los pilotes alcanzaron el 85 % de la resistencia proyectada de su f'c.

El inicio de las actividades del hincado consistió en la perforación realizada con perforadora Cadwell de un tercio de la longitud total del pilote.

Una vez hecha la perforación, la grúa tomaba al pilote de uno de los ganchos de izaje, y lo colocaba dentro de ésta.

Antes del que el martillo comenzara el golpeteo, el pilote se hundía por su propio peso unos 3.0 m en el terreno; después, se le sujetaba con el capuchón metálico, al que previamente se le habían colocado algunos pedazos de polines para evitar el golpeteo directo.

Antes y durante el hincado del pilote, se verificó la verticalidad mediante un método empírico que consistió en poner unas plomadas en un tripié hecho de varilla y alineado a 30 cm de distancia del pilote.

Estas referencias se colocaron en ángulo de 90°, tomando como vértice el pilote, fig. IV.2

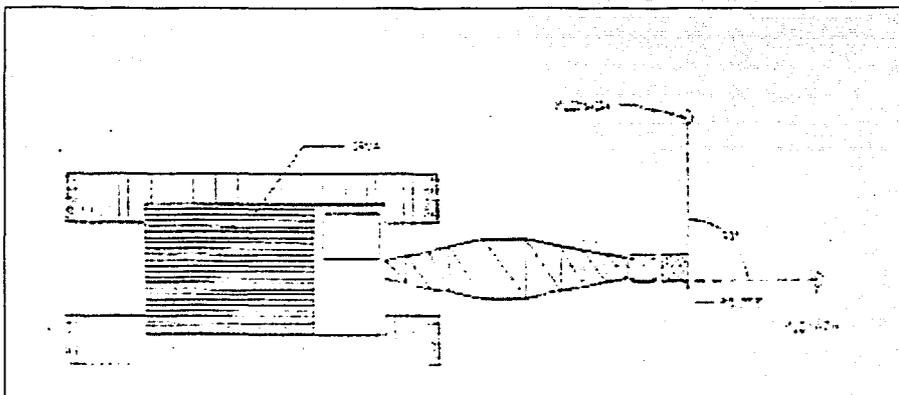


fig. IV.2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Una vez verificada la verticalidad, se empezaba la secuencia de hincado, por percusión.

Para iniciar el hincado, se subió el martillo de 0.75 m a 1.0 m de carrera sobre el capuchón y se dejó caer. El martillo que se utilizó fue un Delmag D30-13 con un peso de 5 000 kg, mediante su propio peso genera compresión y combustión dentro de su cámara interna, empujando al pilote hacia abajo y al martillo hacia arriba.

Se necesitaron 10 golpes en promedio para hincar un pilote en sus tres fases, esto es 403 golpes por zapata, como se muestra en la fig. IV.3

ZAPATA	EJES	NÚM. DE PILOTES	NÚM. DE GOLPES			TOTAL DE GOLPES
1ª PARTE 2ª PARTE SEGUIDOR						
Muro estribo	1	10	51	48	25	124
Z-5	2-3	42	54	228	82	364
Z-4	4-5	45	92	366	106	564
Z-3	6-7	48	174	260	81	515
Z-1	8-9	62	256	153	56	465
Z-2	10-11	62	23	53	163	239
Z-4	12-13	45	71	136	417	624
Z-5	14-15	42	115	93	348	556
Muro estribo	16	10	75	78	21	174
NÚMERO TOTAL DE PILOTES		366	NÚMERO TOTAL DE GOLPES			3625
TOTAL DE ZAPATAS = 9						
NÚMERO TOTAL DE GOLPES EN PROMEDIO POR ZAPATA						403

fig. IV. 3

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Una vez que el pilote se hincó en su primera etapa, se dejó a una altura de 1.0 m arriba del terreno natural; la segunda etapa se hizo en forma similar, al empalmar éstos se verificó la verticalidad de los mismos en la junta, para ello el segundo tramo a empalmar se sostuvo con la grúa mientras se soldaron las placas extremas.

La desviación angular máxima admisible proyectada del pilote fue de 2 % de la longitud total, una vez que se soldaron, se verificó su verticalidad y luego se continuó con el hincado de la segunda sección.

Una vez iniciado el hincado de cada pilote, no se suspendía sino hasta que la punta alcanzara la profundidad proyectada (19.70 m).

Cuando el pilote llegó al nivel del terreno natural, se colocó el "seguidor" para hundir el pilote hasta el nivel de profundidad proyectado.

Dicho "seguidor" consiste en un tubo metálico cédula 80 y un capuchón conectado a éste para recibir la cabeza del pilote y guiarlo precisamente a la profundidad deseada.



Este procedimiento se repitió hasta que se hincaron todos los pilotes. Se llevó un registro de la ubicación de cada pilote en la planta de cimentación, la fecha de hincado, el nivel de terreno antes del hincado y el nivel de la cabeza inmediatamente después del hincado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPÍTULO V DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA SUBESTRUCTURA, ESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA**

### **V.1 SUBESTRUCTURA**

Formada fundamentalmente por columnas, estribos, muros de contención y sus correspondientes cimentaciones, realiza la operación estructural de dispersión de las fuerzas en los apoyos sobre el terreno de cimentación.

Para el proyecto que se presenta en este tema de tesis la subestructura esta conformada por un total de 366 pilotes de cimentación profunda del puente vehicular.

Una vez definidos los niveles de desplante de los elementos, es importante mencionar que las distancias entre centros de pilotes de un mismo eje variaba en ambos sentidos tanto en el transversal como en el longitudinal, esperando que la distancia que guarda cada eje transversal de cada uno de los cuerpos fuera simétrica y estuvieran en los ejes de las contra trabes de cimentación. Las columnas guardaban una distancia entre si de aproximadamente 3.6m y dependió en todo momento de la correcta proyección topográfica para obtener un buen resultado en el momento de los montajes de los elementos de la superestructura, ya que estos elementos se fabricaron con las mismas medidas.

Posteriormente concluida el hincado de los pilotes de cimentación que dan soporte a los diversos elementos estructurales como son los muro estribo, se dio paso a la construcción del mismo, por otra parte concluida la construcción de las zapatas que reciben el desplante de la cimentación superficial se dio paso a la construcción de las columnas. En resumen podemos definir la cimentación superficial y que forma parte de la subestructura.

### **V.2 DISPOSICIÓN Y UBICACIÓN DE LAS PILAS Y ZAPATAS**

La superestructura transmite las cargas hacia las columnas, las cuales están alojadas en sus respectiva zapata, es importante mencionar que 3 trabes de apoyo tipo T.A. son las que dan forma al tablero principal apoyándose en dos cantiliver, la distancia que guardan a ejes las zapatas que dan soporte a la estructura es de 12.0 m y cada sistema de soporte guarda una distancia de 24.0 m entre uno y otro, es aquí donde se refleja la belleza estructural con que fue diseñada la superestructura, ya que los extremos de las trabes de apoyo encontrándose en cantiliver reciben a las trabes de cierre tipo T.C., las cuales tienen una longitud de 36.0 m y de esta manera se ahorró el diseño de un elemento estructural de mayores dimensiones.

### V.3 ESTRUCTURA

La estructura del puente vehicular esta conformada de la siguiente manera, haciendo notar como ya se dijo que cada eje transversal contiene tres. Sobre cada par de columnas se desplanta en su parte superior el capitel.

### V.4 COLUMNAS

Estos elementos varían de tamaño de acuerdo a la disposición de los ejes, las columnas aparte de transmitir las cargas a la subestructura, su diseño estructural tiene la finalidad de absorber los movimientos horizontales a los que esta sometida toda la estructura en conjunto y las cargas que sobre ella actúan, ya que estos movimientos a parte de someter a la columna a carga axial y a flexiones también son sometidos a torsión.

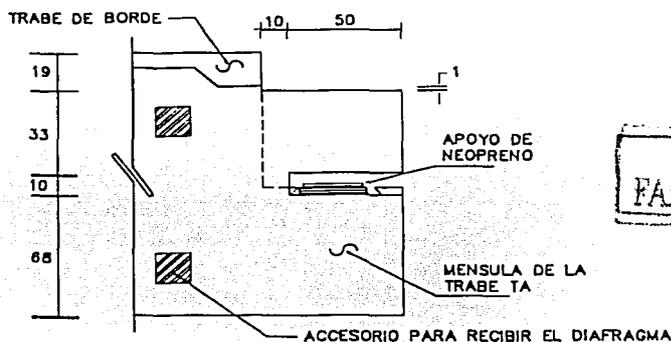
### V.5 SUPERESTRUCTURA

La solución estructural empleada en la superestructura de estos puentes fue definida mediante vigas de tipo Gerber trabajando en conjunto. En el sentido transversal se apoyan sobre capiteles de concreto los cuales coinciden con los ejes transversales de las columnas.

La superestructura fue diseñada para resistir las cargas: carga para puentes de tipo HS20-40 carga viva de  $415 \text{ kg/cm}^2$  y una carga muerta adicional de  $100 \text{ kg/cm}^2$  que toma en cuenta la carga de los parapetos, señalizaciones, postes de luz, así como, sus respectivas instalaciones, para tal efecto se diseñaron traveses cajón aligeradas. La superestructura esta conformada por elementos prefabricados que en este caso son secciones tipo cajón con un patín superior, el empleo de estos elementos es muy factible sobre todo cuando se manejan claros del orden de los 36.0 m o más ya que de esta manera se logra un ahorro importante en el consumo de acero y concreto (por la disminución de los peraltes de las traveses).

La superestructura del puente esta conformada por traveses de apoyo y traveses de cierre prefabricadas y pretensadas las primeras se denominan T.A. y están en doble voladizo con una longitud de 18.0 m y un peralte de 1.40 m siendo estas las que descansan simplemente apoyadas sobre los capiteles cuya localización coincide con los ejes transversales de las columnas, el volado de las traveses tiene una longitud de 3.0 m en cantiliver, estas traveses en sus extremos disponen de una terminación conocida como "tacón" que es una ménsula que sirve como apoyo para recibir a las traveses de cierre conocidas T.C., además estas ménsulas tienen un par de pernos verticales para la conexión entre un elemento y otro, las traveses T.C. no cuentan con ningún apoyo intermedio y tienen una longitud de 18.0 m y un peralte de 1.40 m, con la particularidad que en sus extremos tienen una terminación conocida como "nariz", la cual se apoya directamente sobre un neopreno colocado sobre la nariz de

las traves de apoyo. El tablero principal de apoyo esta formado por tres traves de apoyo tipo T.A. y una vez colocadas las mismas se construye sobre el "tacón" de estés un zoclo de nivelación el cual tiene como objetivo el de proporcionar el nivel requerido de proyecto para la superficie de rodamiento, este zoclo de nivelación se fabrica con un concreto estabilizador de volumen con una resistencia de 500 kg/cm<sup>2</sup>, una vez que fragua y endurece el zoclo se coloca el apoyo de neopreno, que tiene como función principal el de absorber y disipar la energía que es transmitida por la superestructura hacia la estructura formada por las columnas. Una vez formado el tablero principal de apoyo se da paso al montaje de cuatro traves de cierre T.C. que van dando forma al sistema de piso.



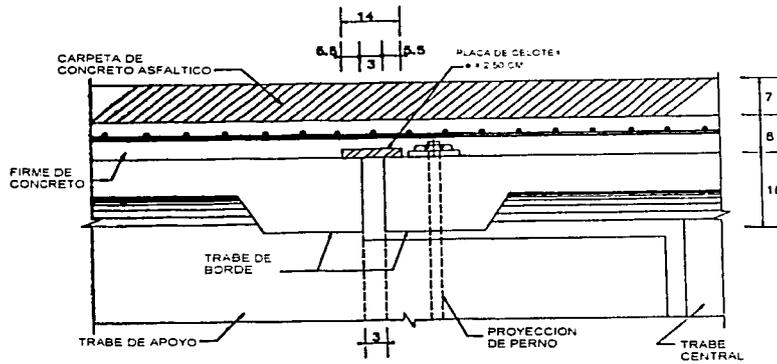
### RANURA PARA CAMBIAR ACCESORIO

Para hacer interactuar en conjunto las traves de apoyo T.A. con las de cierre T.C. se diseñó la construcción de las traves de borde y son estas las que proporcionan un anclaje entre los elementos que dan forma a la superestructura y de esta manera trabajar ambas traves monolíticamente.

Para resistir las fuerzas sísmicas se desarrolló una solución estructural, que consiste en la formación de dos marcos rígidos, dichos marcos coinciden con los ejes transversales y cada uno de ellos está formado por dos columnas y un capitel.

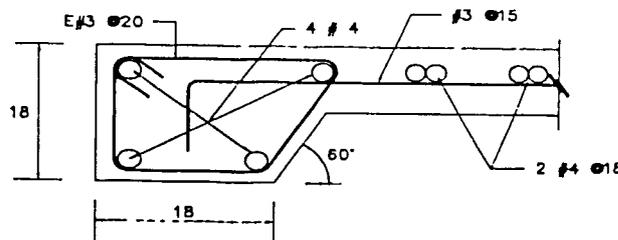
Debido a la necesidad de contar con una conexión monolítica entre las columnas, los cabezales y las traves de apoyo T.A. para poder formar los marcos rígidos en el sentido transversal, fue necesario que el refuerzo de las columnas se continuara en su extremo superior hasta llegar al firme. En la losa inferior y superior de los cabezales y de las traves de apoyo se dejaron unas ventanas por donde logra pasar el acero de refuerzo transversal a todo lo largo de la sección para dar forma a los diafragmas de concreto, es importante mencionar que una vez colado el capitel sobre las

columnas se procedía inmediatamente a colocar el acero de refuerzo transversal y al colado del mismo y de esta manera finalmente se colocaron las traveses de apoyo a las cuales también se las colocó el acero de refuerzo transversal y se procedió al colado de los mismos para de esta manera obtener el marco rígido.



JUNTA ENTRE TRABES  
APOYO FIJO

Finalmente, la superestructura cuenta además con los diafragmas metálicos, los cuales se localizan en el centro del claro y en los extremos de las traveses, para la colocación de estos se dejaron preparaciones a base de placas metálicas empotradas en los costados de las traveses prefabricadas, en la fabricación de estos diafragmas se utilizaron tubos de 10.0 cm de diámetro.



TRABE DE BORDE

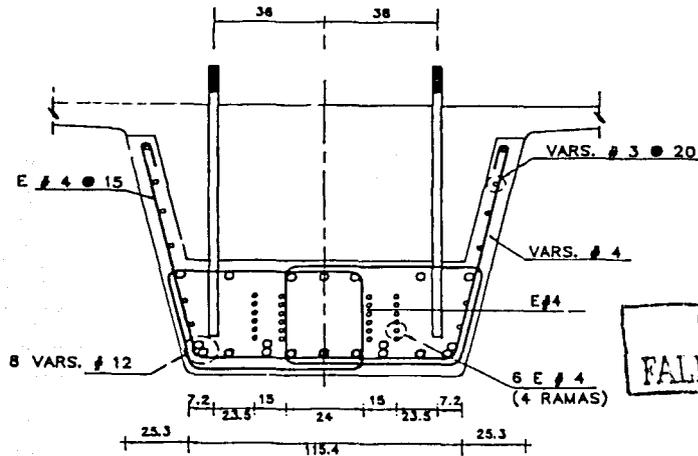
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Es importante mencionar que el empleo de las traveses tipo cajón es muy eficiente desde el punto de vista estructural por su alta capacidad a la torsión y desde el punto de vista constructivo, es muy práctica, ya que para perfilar su sección interior se emplea un molde deslizante llamado "molde corazón" y el interior de la travesa funciona como cámara de vapor para el curado del concreto. Por otra parte las traveses tipo cajón en conjunto con las vigas transversales y los diafragmas tanto de concreto como metálicos, forman una retícula plana que permite que los puentes presenten un comportamiento satisfactorio para soportar las cargas vivas móviles.

Por último después de montar y fijar las traveses prefabricadas que dieron forma a la superestructura se colocó el firme de compresión, carpeta asfáltica, parapetos metálicos, guarderíos, alumbrado público, así como, su señalamiento horizontal y vertical.

### V.6 TRABES PORTANTES

Las traveses portantes conocidas como traveses de apoyo T.A., funcionan como elementos de apoyo, son prefabricadas y pretensadas, en doble voladizo, con una longitud de 18.0 m, el ancho de la sección en su parte inferior correspondiente al apoyo es de 0.90 m y en la parte superior el ancho de la sección es de 3.5 m incluyendo el patín superior. Las paredes laterales de la sección cajón tienen un espesor de 0.15 m y la losa inferior es de 0.50 m, mientras el espesor de la losa superior varía en el sentido transversal de 0.05 a 0.08 m.

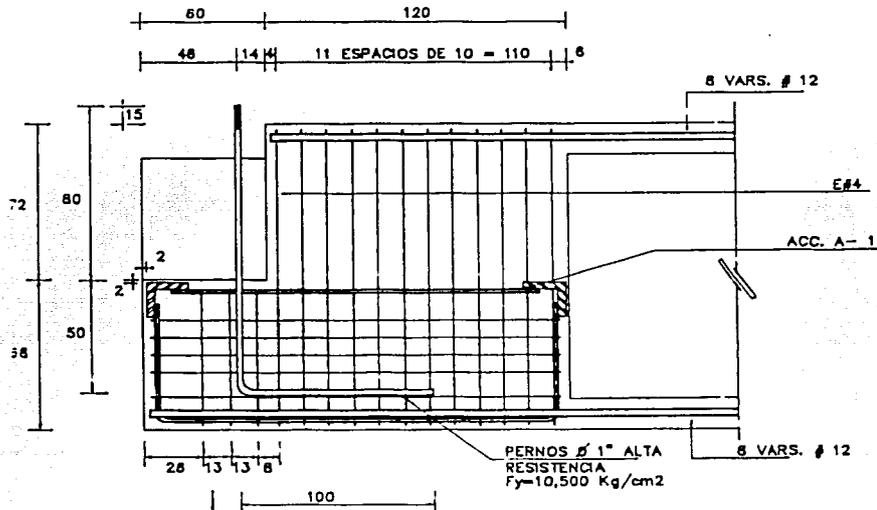


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las traveses fueron pretensadas con 70 torones de presfuerzo de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 8 varillas de No. 12 corridas como refuerzo longitudinal formando cada par de estas un paquete, colocadas e inmersas en la losa superior, se colocó refuerzo adicional en las paredes de la sección cajón a base de varillas del No. 4 alternadas a cada 0.20 m.

### V.7 TRABES MONTANTES

Las traveses montantes son elementos estructurales que al igual que las traveses portantes son prefabricadas y preesforzadas, con la diferencia que tienen una longitud de 24.0 m, también son de sección transversal en cajón con un patín en su parte superior. El peralte de estos elementos es el mismo.



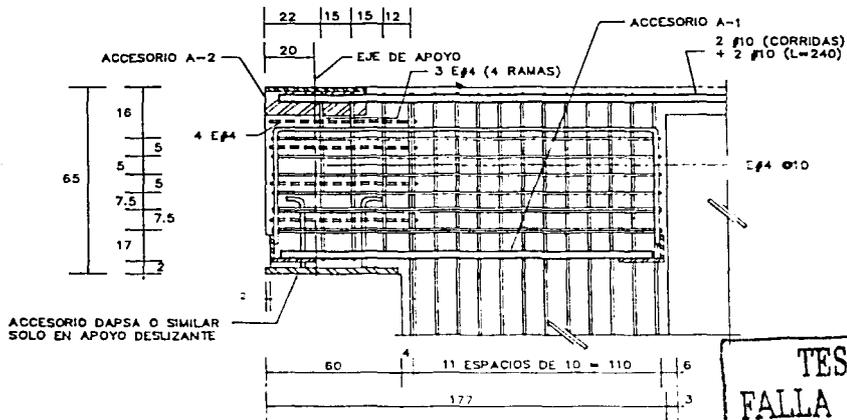
### V.8 PREESFUERZO

Para la construcción de las traveses tanto de apoyo T.A. como de cierre T.C. fue necesario tomar en consideración los aspectos correspondientes a la operación en los sistemas de preesfuerzo, ya que el procedimiento de inducir esfuerzos de precompresión en una estructura de concreto, después de colada y obtenida la resistencia requerida para el postensado, puede en principio, considerarse general y por lo mismo, independiente por los sistemas en particular.

Se puede anotar que el acero de sección delgada es más eficiente que las barras gruesas, ya que durante el tensado se acepta alcanzar el 80 % del valor de ruptura, valor que es más elevado mientras menor sea el diámetro del acero. Esto se debe a las propiedades físicas del mismo, como su mejor homogeneidad.

En ningún caso puede esperarse lograr efectos de preesfuerzo eficientes y económicos, empleando aceros dulces de bajo límite elástico, ya que al alcanzar el 80 % de este y presentarse las pérdidas (acortamiento instantáneo y diferido del concreto, relajamiento de acero, etc.), son tan significativas, que el preesfuerzo remanente sería prácticamente nulo, esto no acontece con el acero de alta resistencia, por razones obvias.

Las operaciones de preesforzado que se tomaron en cuenta para la fabricación de los elementos, se menciona en el siguiente orden:



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1. Debe ponerse especial atención en la colocación de los conductos que alojarán los cables de preesfuerzo, siguiendo lo más apegado posible las trayectorias que marca el proyecto, en virtud de que en caso de formarse quiebres se presentarían problemas durante el tensado por las fricciones adicionales que esto ocasiona y que pueden ser de consideración.
2. Fue muy conveniente la colocación de un poliducto dentro del conducto de lámina que formaría el hueco donde se colocan los cables de preesfuerzo, el cual se utilizará después del colado para permitir la colocación del acero. Tiene por objeto la de evitar la entrada de lechada en caso de rompimiento de la lámina del conducto y a consecuencia prevenir la formación de tapones. Así mismo, se logra una mejora notable en las trayectorias de los cables.

3. Antes del tensado del acero se procede al estudio de los diagramas de esfuerzos anotando los valores exigidos, con objeto de conocer las fuerzas de gateado necesarias en los respectivos cables, teniendo especial cuidado en los calores de fricción y en la caída de tensión necesaria al final del tensado.
4. Es preciso conocer la curva – deformación del acero por emplear y calcular con ella y con los datos de proyecto (longitudes de cable y tensiones a lo largo del mismo), las elongaciones por lograr.
5. Conocer el funcionamiento del gato y área del pistón que recibirá la presión por aplicar durante el gateado, mediante la bomba de inyección regulada con un manómetro.

Investigar el % de la pérdida de eficiencia del gato, respecto a la capacidad teórica determinada con los datos señalados, lo cual generalmente lo informa la firma que suministra el equipo de tensado.

Con estos datos se formará un cuadro de equivalencias, en el cual se anotará la correspondencia, en toneladas de cada lectura del manómetro, es decir, la fuerza que desarrolla el gato cuando el manómetro indique 50.0 kg/cm<sup>2</sup>, 100.0 kg/cm<sup>2</sup>, etc., a fin de conocer los esfuerzos desarrollados en el cable en proceso de tensado, del cual, por proyecto se conoce el área respectiva.

6. Antes de iniciar el tensado purgar el gato para expulsar las burbujas de aire, basura, etc., ya que queda aire comprimido por el aceite, no lográndose la carrera del pistón ni la fuerza de gateo necesaria.
7. Calibrar los manómetros, operación que se efectúa generalmente en el laboratorio para su verificación, se comparan los manómetros por emplear en la obra con un manómetro patrón, o bien se calibran con una prensa y se hace una tabla de correspondencias de lecturas; cuando al efectuar el tensado, sea preciso aplicar por ejemplo 100.0 kg/cm<sup>2</sup>, se consultará el cuadro de correspondencias de la verificación, con el propósito de ver la lectura que deba señalar el manómetro verificado.
8. Comprobar que el cable corra libremente dentro del ducto, a fin de asegurar que la acción de tensado se distribuya a todo lo largo del cable, para lo cual se golpea en un extremo, debiendo salir el cable por el lado opuesto; en caso de que no corra se conecta el gato de tensado a uno de los extremos del cable con el fin de romper los taponamientos que puedan existir en el interior del ducto, los cuales, con este procedimiento, llegarán a fracturarse y permiten el deslizamiento del cable obstruido.

Cuando no es posible lograr estos resultados puede localizarse el lugar del tapón, con bastante precisión, por efecto del alargamiento que sufre el cable con relación a la presión aplicada con lo cual se deduce la longitud estirada de este y por consiguiente el sitio del taponamiento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En caso de hacerse ranuras del concreto para demoler el tapón, deben localizarse con la mayor exactitud posible y proceder a su demolición cuidando no dañar el cable, ya que cualquier golpe con el cincel lo afecta sensiblemente.

La localización y la magnitud necesaria de las ranuras deben ser revisadas en detalle, previamente a su ejecución a fin de cerciorarse de que no debiliten la capacidad de trabajo de la trabe.

Las perforaciones que se hacen en el concreto con este fin se tapan, posteriormente al tensado del cable, cubriendo la parte demolida con grava gruesa, sellada en su exterior con yeso; la lechada, al ser inyectada al cable después del tensado entra a presión dentro del ducto, penetrando en todas las oquedades del agregado que se colocó previamente en la forma antes descrita, logrando con ello que el sello de las ranuras no se desprenda posteriormente; en esta forma se tiene continuidad con la mezcla inyectada.

9. Tensado del cable: se aplica inicialmente una tensión del orden del 10 al 20 % del total, hecho lo cual se marcan en algunos alambres, con la mayor exactitud posible, distancias arbitrarias para medir los alargamientos, teniendo la trabe como referencia.

A continuación se aumenta la tensión al doble de la inicial y se mide la elongación y así sucesivamente se sigue aumentando con incrementos iguales hasta llegar a la prevista para lograr los esfuerzos calculados, que en ningún caso deben exceder el límite elástico del acero.

La razón por la cual no se registra el alargamiento inicial del cable obedece a que durante esta etapa, tiene lugar un acomodamiento de los elementos que lo forman dando un alargamiento aparente mucho mayor que el que corresponde al esfuerzo aplicado.

Para determinar el alargamiento total efectivo durante el tensado, se anotan los resultados registrados en una gráfica: en el eje de las ordenadas se anotan las lecturas del manómetro y sus correspondencias a fuerza de gateo; en las abscisas, los alargamientos en milímetros; se traza una recta de tal manera que se compensen las desviaciones de los puntos respecto a estas. Esta línea intercepta el eje de las ordenadas y debe prolongarse en el cuadrante siguiente hasta cortar el eje de las abscisas. El alargamiento inicial no registrado (ya que la marca para medirla se puso después de haber aplicado esta presión), se determina gráficamente midiendo a escala la distancia de esta intersección al eje de las ordenadas.

Se suma este alargamiento así determinado, al medido físicamente, lo que da el alargamiento total. Si el teórico no se obtuvo a la fuerza prevista, se requiere una revisión al cálculo o procedimiento seguido.

10. En caso de que el tensado se haga por ambos lados, se procede de forma semejante a la antes indicada, es decir, instalando dos gatos de tensado, trabajándose al mismo tiempo.

En este caso (debido a que la aplicación de la fuerza en ambos extremos no es rigurosamente uniforme, dado que los gatos se operan independientemente), no se obtendrá aisladamente en cada extremo, la recta esfuerzo – deformación, lograda al tensarse un solo lado, sin embargo, sumando a igual fuerza de gateado los alargamientos de uno y de otro extremo de la trabe se obtiene dicha gráfica.

Ahora bien es usual seguir el siguiente procedimiento para efectuar el tensado con gatos en ambos extremos del cable: si al aplicar en cada extremo la primera tensión en que se hará lectura, los alargamientos en cada uno y otro lado son sensiblemente diferentes en la siguiente elevación de tensión, deberá aumentar primeramente la del lado del alargamiento menor, hasta que sensiblemente se igualen; al lograrlo se continuará aumentando simultáneamente la tensión en ambos lados no debiendo nunca aplicarse distintas fuerzas de tensado, en los extremos del cable al final de cada una de las etapas.

Como es frecuente incurrir en errores, es conveniente el empleo de algún sistema eficiente de intercomunicación entre los técnicos que estén controlando el tensado en ambos extremos.

11. Al final del tensado la distribución de tensiones a lo largo del cable, siendo menor el centro y mayor en los extremos, pero como la máxima requerida debe ser al centro (normalmente) es preciso reducir las tensiones máximas en los extremos sin afectar las exigidas por el proyecto para efectos de trabajo.

Regularmente los sistemas de anclaje provocan cierto corrimiento automático del cable, hacia dentro de la trabe, durante la operación del anclaje, lo que representa una caída de tensión en los extremos del cable; esta caída no se propaga por igual a lo largo de éste.

Debido a los efectos de fricción que obran en sentido inverso de cómo actúan durante el tensado, con los esfuerzos del cable en las zonas donde deben ser máximos por razones de proyecto (después de las operaciones de tensado) no se abaten.

El corrimiento del cable hacia el interior de la trabe durante su anclaje varía de uno a ocho milímetros, según el sistema de tensado que haya empleado, y el cual es un factor determinante, para el diseño son de preferirse los sistemas que permiten los mayores corrimientos al efectuar el anclaje pues con ello es posible trabajar provisionalmente el acero a mayores esfuerzos, lo que redundará en una positiva economía dado que dichos corrimientos garantizan una considerable caída de tensión de los esfuerzos del cable, en la zona próxima a los anclajes donde los esfuerzos de tensado son máximos debido a que la fricción obliga a trabajar el acero a mayores esfuerzos que los necesarios (refiriéndonos en este caso a vigas simplemente apoyadas).

En sistemas de anclaje regidos, que no permiten corrimiento al cable, es usual soltarlo bajando la presión de la bomba de inyectado del gato de tensado, de manera que provoque la caída de tensión prevista en el proyecto, aun cuando cabe advertir que los resultados de esta operación son, dudosos. Para seguridad

de la correcta distribución de esfuerzos se hacen necesarios, entonces, trabajar el acero en menores esfuerzos por lo que no se precisará emplearlo en mayor cantidad.

También conviene hacer mención de que deben emplearse preferentemente aceros estirados en frío, a aceros estirados en caliente, ya que estos últimos por razones complejas de carácter metalúrgico tienen mas propensión a la falla por ruptura plana (que difiere de las fallas por tensión, donde antes de romperse el cable de su sección se reduce y en la ruptura se presenta un cuello o estrangulamiento).

Debe tenerse especial cuidado ya que por ningún motivo se realicen trabajos de soldadura en lugares cercanos ya que dañaría el acero de presfuerzo.

12. Se procederá finalmente a la mayor brevedad posible a efectuar la inyección de la lechada que rellenará el espacio entre acero y conductos, ya que de lo contrario pueden corroerse los cables por oxidación, fenómeno que cristaliza el acero haciéndolo perder resistencia. En los aceros tensados, este efecto (oxidación) es más sensible que en el acero no tensado.

Antes del inyectado se introduce primero agua para la limpieza del cable y del conducto después del lavado se inyecta una mezcla de agua - cemento, con un aditivo para hacer fluida la mezcla y con propiedades de expansor para evitar las contracciones por fraguado y obtener así una mayor adherencia.

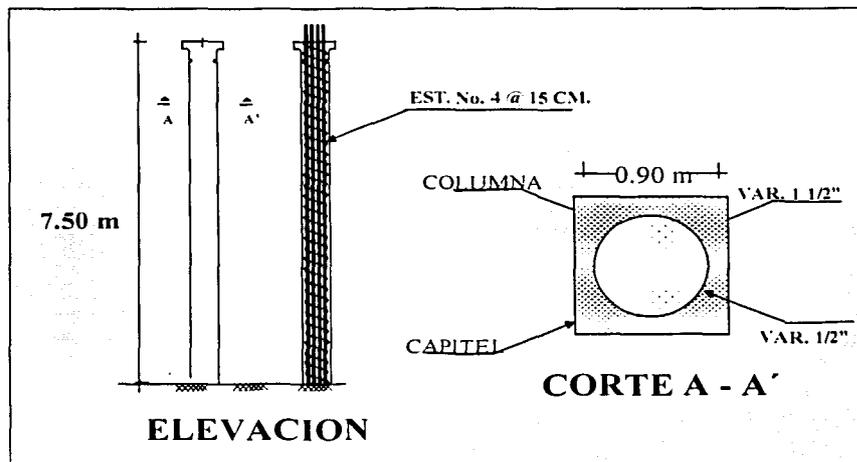
La inyección preferentemente debe hacerse desde el punto más bajo de la trayectoria del cable. Dejando respiraderos en los lugares mas altos para evitar que queden zonas sin relleno o burbujas de aire. Una vez que la lechada sale con las mismas características que tiene donde se esta fabricando y después de cerciorarse que no arrastra burbujas, se obtura el orificio de salida y se levanta presión en la bomba de inyección para asegurar que quede completamente lleno el conducto, procediéndose a sellar la entrada.

**CAPITULO VI PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA Y ESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA****VI.1 ARMADO DE COLUMNAS**

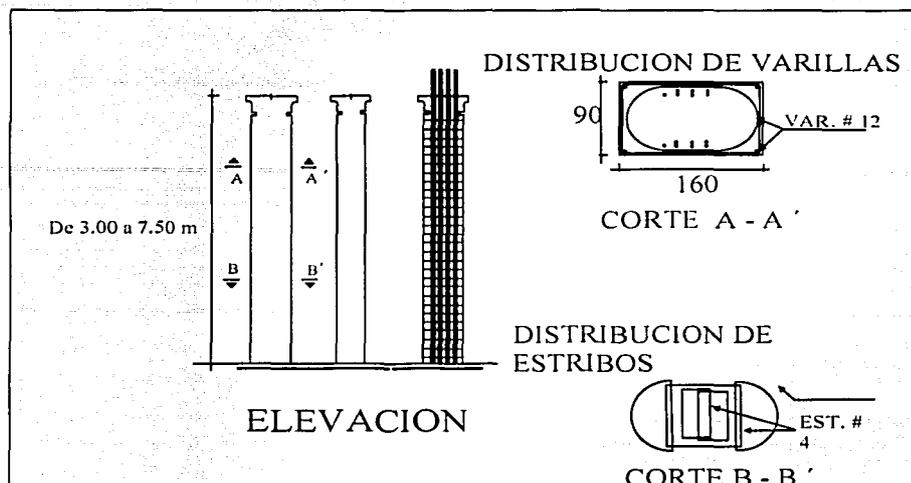
Cabe mencionar que con el colado del dado de desplante y el moñón, quedó ahogada la parte inicial de la columna.

La brigada de topografía estuvo presente en todo momento durante el armado y colado de las columnas, para verificar la correcta colocación y posición, ya que de estas depende la mayor parte de la seguridad de la estructura y totalmente el montaje de las traveses prefabricadas.

En el puente se tuvieron dos tipos de columnas; una de sección circular (de 90 cm de diámetro) y la otra en forma oblonga (de 90 cm de diámetro x 160 cm de largo).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



El armado de ambas se realizó dentro del puente:

ZAPATA	EJES.	COLUMNA.	FORMA.	Nº DE VARILLAS.	
				INICIO	FINAL
Z-1	8-9	C-1	CILÍNDRICA	72	72
Z-2	10-11	C-2	CILÍNDRICA	56	56
Z-3	6-7	C-3	OBLONGA	64	64
Z-4	4-5, 12-13	C-4	OBLONGA	52	56
Z-5	2-3, 14-15	C-5	OBLONGA	28	32

fig. VI.3

El acero de refuerzo del armado de las columnas fue considerable debido a la magnitud de las cargas que soportará cada una ya que los claros a librar son grandes siendo el mayor, el que atraviesa Periférico norte (26.0 m).

Las columnas variaron su altura conforme se avanzó en el cadenamamiento de la rampa de acceso hacia el centro de Periférico.

La pendiente de la pista de rodamiento del puente se logró mediante las traveses ya que el remate de las columnas es horizontal y esta pendiente se tomó en particular para cada eje de columna, dependiendo del remate logrado en esta.

En el armado de las columnas se realizaron soldaduras (bulbos) en varillas mayores del No. 8 (una pulgada), con el objeto de evitar traslapes que en estos diámetros no son permitidos por reglamento.

Los estribos en ambas columnas (circulares u oblongas), se formaron mediante varillas del No. 4 (½") a cada 15.0 y 10.0 cm para las columnas circulares y oblongas respectivamente, dichos estribos se armaron de la misma forma y distribución de las columnas.

Con el fin de garantizar la posición de las varillas hasta su terminación, se colocaron 2 plantillas (una al inicio y otra al remate de la columna), con estas plantillas, las varillas no se movieron de su posición durante la construcción.

Cada pieza se sujetó desde su inicio hasta el final, amarrándola con alambre recocado, al acero de la trabe de liga, ya que fueron elementos muy largos y esbeltos; con forzales de alambre recocado a manera de contraventeo, sujetaron a varillas ancladas en el terreno o en el mismo acero de la cimentación.

Para las columnas oblongas los cabezales son de 1.85 m de diámetro, fue necesario realizar soldadura (bulbos) en su armado principal debido a que la altura de las columnas fue mayor, el armado fue de varillas del número 8 (1"),  $f_y = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$  estas se desplantaron sobre el cajón de cimentación; se alinearon en dos ejes perpendiculares al eje longitudinal radial al puente y en cada uno de ellos se alinearon dos columnas.

## VI.2 CIMBRADO DE COLUMNAS.

La diferencia de geometrías entre las columnas circulares y oblongas, sólo fue en el procedimiento de la cimbra en su dimensionamiento.

Se necesitó un molde que resistiera el peso de concreto fresco y el empuje del vibrador y le proporcionara la forma y la textura de acabado requerida por el proyecto.

El material empleado para la fabricación de la cimbra fue de lámina de acero de ¼", confinada en su estructura metálica fabricada con ángulo de 2".

Se requirió que los moldes tuvieran la forma requerida por el proyecto y que fuera fácil en su colocación y retiro.

Para el caso de las columnas oblongas se utilizó cimbra compuesta de cuatro partes, 2 para la parte recta (70 cm) y 2 para la parte de medio círculo (45 cm).

Para la cimbra de las columnas circulares los moldes fueron una pieza, de un diámetro de 90 cm.

El habilitado de la cimbra, fue por módulos, y de esta manera facilitó su colocación.

Todos los módulos de la cimbra tuvieron una ceja de placa de  $\frac{1}{2}$ " barrenada (orificios), a una distancia equidistante, estos orificios sirvieron para unir las partes por medio de tornillos y así armar las geometrías de las columnas antes mencionadas.

Cuando el acero de refuerzo estuvo listo, se procedió al cimbrado de la columna (previamente engrasada), con esto se evito que se pegara el concreto en la cimbra, ya que su acabado final debería ser tipo espejo.

El troquelamiento de la cimbra se realizo con madera (polines).

### VI.3 COLADO DE COLUMNAS.

Terminada la actividad del cimbrado y perfectamente plomeado y alineada la cimbra, revisados los recubrimientos del acero, se realizo la limpieza a base de aire y agua, después de la limpieza se dio inicio al colado del elemento, el concreto fue premezclado de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , revenimiento por proyecto de 10 cm.

El vaciado se realizo a través de una bomba telescópica con una manguera flexible, que permitió su introducción a la columna, hasta una altura tal que el concreto no cayo de una altura mayor a 1.50 m.

El inconveniente principal de este tipo de cimbra fue que no se pudo realizar ventanas de acceso tanto a los vibradores como a la manguera de la bomba.

Por la obstrucción del acero de refuerzo se tuvo que dotar a los vibradores con chicote flexible más largo, logrando llegar a las partes más bajas de la columna, y de esta manera se evito la segregación del concreto en la columna por la altura.

En las juntas de colado se colocaron aditivos (adecon) para evitarlas y garantizar la unión entre concretos, con el consecuente tratamiento de las juntas, este aditivo tiene la particularidad de disminuir la segregación y el sangrado.

Como es fluidizante permitió que el colado llegara a toda la sección interna de la columna y así se acelero el proceso de descimbrado.

Cabe mencionar que en esta obra la alineación y plomeo de las columnas tuvo un control esmerado debido a que sobre estas se colocaron las traveses prefabricadas. Ya que aparte de que la columna debería de entrar en la trabe, estas serán postensadas en algunas piezas (cabezales).

El concreto utilizado fue bajo las mismas especificaciones comentadas para los pilotes y las zapatas.

#### **VI.4 ARMADO DE CAPITEL.**

Las columnas estuvieron dotadas en su parte superior con un coronamiento de concreto armado que se integra a la columna, como unidad estructural, a este elemento se le conoce con el nombre de capitel.

El capitel, es el remate de la columna y su función es distribuir los esfuerzos entre ambos elementos, y con su geometría de ménsula (con un área mayor a la de la columna), concentra la carga en la columna y esta trasmite directamente a la cimentación, dicho capitel se colocaba mediante un molde estándar hecho a base de fibra de vidrio.

Las actividades referentes al armado del capitel se comenzaron con la colocación de estribos que abrazan a las varillas principales de la columna y de un accesorio de ángulo de acero, fijándolo a las varillas longitudinales de la columna por medio de soldadura.

Este accesorio tuvo la función de evitar fracturas causadas por el asentamiento de la trabe.

Para verificar la correcta alineación del accesorio se marcaron referencias triangulares con pintura (palomas), en la columna ya colada, dichas referencias fueron los ejes de los capiteles.

#### **VI.5 CIMBRA DE CAPITEL.**

Concluidos los trabajos referentes al armado se procedió al cimbrado del capitel, la cimbra del capitel se realizó con fibra de vidrio, para realizar dicha cimbra, se realizó la fabricación de un molde preliminar de yeso, que se cubrió con fibra de vidrio, de esta manera darle un terminado aparente a los capiteles.

Los moldes del capitel se formaron de dos partes simétricas y en la línea de corte se formó una división que dio forma a una ceja, que sirvió para unir las dos partes con tornillos y tuercas. Una vez presentada la cimbra, se verificaba topográficamente, altura, nivelación y alineación con respecto al eje de apoyo y aprobada, se procedía al colado del capitel. Ver fig. VI, 4 (pag. 51)

#### **VI.6 COLADO Y DESCIMBRADO DE CAPITEL.**

El colado del capitel se realizó con concreto hecho en obra, esto debido a que el volumen fue muy poco para ser colado mediante una olla concretera, a pesar de esto

se verificaba la proporcionalidad de la mezcla, el concreto fue de una resistencia igual al de la columna, esto es  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$  y revenimiento de 10 cm.

También como en el caso de las columnas se le agregaba un aditivo (adecon) para garantizar la unión de ambos concretos con el consecuente tratamiento de las juntas al igual que en las columnas, estos colados se realizaban principalmente a primera hora.

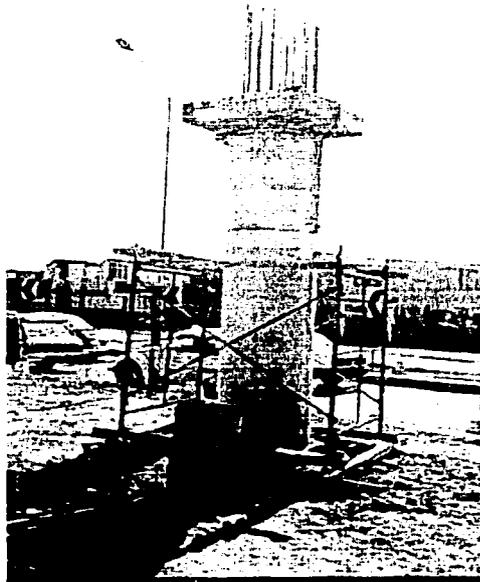
Esta era con el fin de descimbrar por la tarde y cimbrar otro capitel, dejándolo listo para el siguiente colado día siguiente.

El vaciado se realizó subiendo el concreto con botes alcoholeros por andamios, sin tener demoras y contaminación del material.

#### VI.7 RELLENO DE ZAPATA.

Cuando ya fueron coladas las columnas y/o los capiteles, se procedió al relleno de la zapata, este relleno se realizó con las mismas especificaciones de la sub-base, esto es capas de 30 cm. colocadas en dos capas de 15 cm. compactadas al 90 % PROCTOR.

Dicho relleno se realizó con las características antes mencionadas ya que sobre este relleno se colocarían las grúas con los elementos prefabricados del puente, para garantizar que soportaría las cargas ya que las grúas se colocarían sobre estos rellenos para realizar las maniobras de montaje de los elementos prefabricados.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. VI.4

**CAPITULO VII            ELEMENTOS PREFABRICADOS**

El puente esta constituido de 80 Traves prefabricadas pretensadas, de las cuales 38 son de apoyo, y 42 son de cierre.

El peralte de las traves fue de 1.40 m, son de sección trapezoidal hueca con alerones de 4.0 m. para formar la pista de rodamiento.

Las longitudes de estos elementos en promedio fueron de 24.0 m siendo las de mayor longitud las que se ubicaron a través del periférico norte salvando el claro de 26.0 m.

El pretensado de las Traves consistió en colocar paquetes de alambre (torones) en la zona de tensión del elemento para que estos tomaran dicha fuerza.

Las Traves tuvieron longitudes muy precisas ya que las exigencias del proyecto así lo requerían, la tolerancia por proyecto fue de 2 cm.

El pretensado se realizó en mesas especiales, antes del colado del elemento, en ellas se tensan los torones a través de un sistema de reacción formado mediante muertos de concreto y gatos hidráulicos.

En estas mesas se colocaba un sistema de reacción a la tensión, generada mediante gatos hidráulicos al tensar los torones, estos, dependiendo del tipo de trabe (de cierre ó de apoyo) se colocan en la parte inferior ó superior respectivamente según el caso.

En dichas mesas de tensado se introducía el armado de la trabe, que previamente se armaba fuera de la mesa.

Posterior al tensado se realizó el colado y cuando el concreto alcanzó su resistencia de proyecto se libera la tensión en los torones, transmitiendo estos una compresión al concreto por medio de la adherencia entre ambos.

Por su posición dentro del puente las Traves se clasificaron en:

- Traves de Apoyo (que en lo sucesivo las llamaremos) T.A.
- Traves de Cierre (que en lo sucesivo las llamaremos) T.C.

Las T.A. se encuentran directamente colocadas sobre las columnas (de ahí su nombre), unidas mediante una trabe transversal (diafragma).

Las T.C. se encuentran apoyadas entre las Traves T.A., dando así la continuidad al puente (de ahí su nombre).

Las T.A. presentaron una saliente en sus extremos, localizada en la parte inferior, a la que llamaremos "Tacón" y su función es ser el apoyo y soporte de las T.C.

Las T.C. también presentan una saliente en sus extremos, pero en la parte superior, a esta saliente la llamaremos "Nariz" y tendrá la geometría necesaria que embonará con el "Tacón" de la T.A.

Sobre cada "Tacón" de las T.A. se localizaban dos pernos, los cuales sirvieron para sujetar en el sentido horizontal a las T.C. y formar juntas constructivas ("Móviles" ó "Fijas"), con las T.C; además sobre el "Tacón" se colocaron bases de neopreno para evitar el contacto directo de los concretos ("Tacón" y "Nariz") entre T.A. y T.C. respectivamente.

### VII.1 FABRICACIÓN

El armado de las Traveses se hizo fuera de la mesa de tensado, dicho armado se realizó en poco tiempo, debido a la geometría de la misma y a los requerimientos de proyecto.

En el armado se colocaron los accesorios respectivos de cada trabe, como son las placas metálicas en el "Tacón" ó "Nariz", también lleva accesorios en las caras laterales del patín de la trabe, que son placas de acero ahogadas en el concreto, mostrando una cara al ras del acabado, en donde se colocó el diafragma metálico.

En las T.A. sobre el "Tacón", quedaron ahogados dos pernos de acero, sobresaliendo 0.70 m de los cuales 0.10 m llevó cuerda normal en su terminación; el diámetro de los pernos fue de 2.54 cm (1") y resistencia a la tensión  $f_y = 10\ 500\ \text{Kg/cm}^2$ .

Además de todos los accesorios descritos anteriormente, existieron otros como: ganchos de izaje (que pueden ser de cable o de placa), unido al armado del elemento ubicados en puntos donde los esfuerzos generados por el peso de la estructura fueron mínimos (8 piezas de izaje por trabe).

Una vez que se armó la trabe y fueron colocados los accesorios correspondientes se procedía a su traslado al molde, este estuvo construido a base de placas metálicas de  $\frac{1}{4}$ " de espesor con atiesadores, localizados a cada 2.0 m y 2 tubos de 36" de diámetro y  $\frac{3}{4}$ " de espesor, ubicados en sus costados.

La función de estos tubos fue la de trabajar como columnas para resistir los esfuerzos producidos por la fuerza del presfuerzo, durante el proceso de fabricación de los elementos.

Estos moldes tuvieron una longitud de 55.0 m, peralte de 1.40 m, y ancho de 4.0 m, el peralte varió de 2.0 m a 1.40 m. Cabe aclarar que para otros puentes con el fin de utilizar el mismo molde para todas las Traveses con diferencias en el peralte se logra esta variación por medio de un fondo falso que se puede desmontar fácilmente. En cada uno de los extremos del molde se localiza una trabe transversal metálica que sirvió para fijar la placa guía de los torones y como apoyo al anclaje de los mismos.

Para las T.A. se colocaron 40 torones por trabe, distribuidos a ambos lados del eje longitudinal de la trabe y colocados en la parte superior.

Para las T.C. se colocaron 68 torones por trabe, distribuidos a ambos lados del eje longitudinal de la trabe y colocados en la parte inferior.

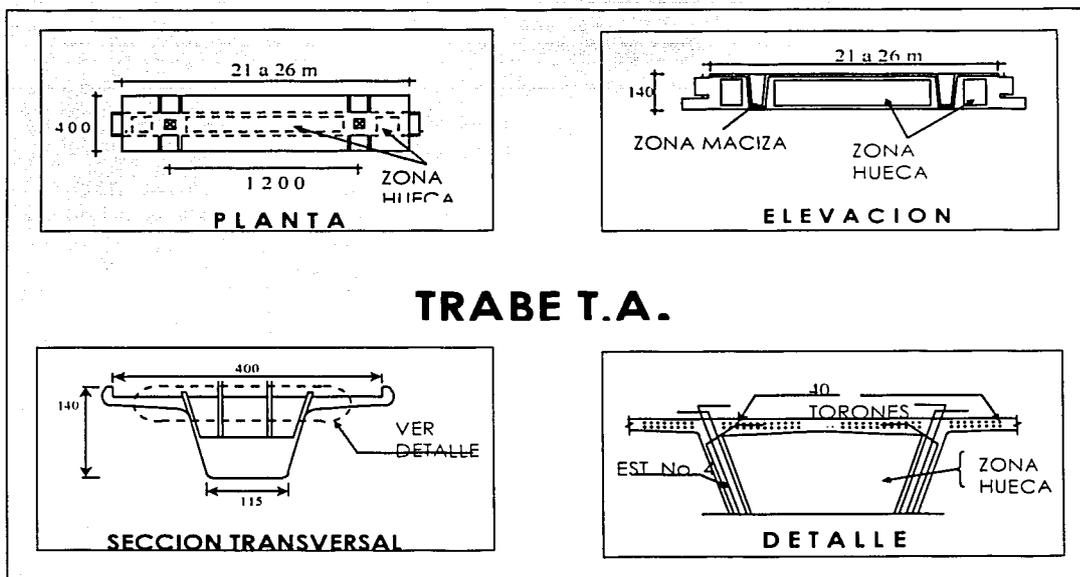


Fig. VII.1

Para las T.A. de transición se colocaron 66 torones por trabe, distribuidos a ambos lados del eje longitudinal de la trabe y colocados en la parte superior.

Los cables de tensado quedaron en posición horizontal y la adherencia que se logró entre acero y concreto fue de vital importancia, por lo que debió revisarse que el acero de los torones se encontrara libre de cualquier material, como aceite o grasa.

El proceso de presfuerzo (pretensado) fue el siguiente:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Mediante gatos hidráulicos se dio tensión a los torones (30 200 Lbs = 13 700 Kg), sosteniéndolos mediante mordazas, esta tensión permaneció en los torones hasta que el concreto alcanzó la resistencia de proyecto (80 % de su  $f'c$ ).

La mordaza se compone de tres elementos que son:

- Cilindro de forma cónica.
- Resorte de Cono prisionero.
- Cono prisionero.

En los extremos de la mesa existieron placas unidas a la mesa de tensado, en estas zonas se colocaron las mordazas.

El sistema funcionó de la siguiente manera:

El gato hidráulico llegó a la carga necesaria por proyecto (13 700 Kg por torón), en el extremo contrario a la mesa de tensado, en la mordaza; el resorte impulsa al Cono prisionero que toma al torón gradualmente.

Cuando el gato disminuía la fuerza, la mordaza del otro extremo entraba en acción; la fuerza con que lo tomó fue proporcional a la tensión.

Este procedimiento se repitió para cada uno de los torones de las T. A. (40 torones), T.C. (68 torones), y T.A. de transición (66 torones); cabe mencionar que debido a la longitud de las T.C., el proceso de tensado se realizó con el sistema de torones no adheridos (ó enductado).

Los torones no adheridos (ó enductado) consisten en colocar poliducto en los torones (en los extremos de estos), en forma escalonada para distribuir el presfuerzo, (el presfuerzo se inicia en el extremo del poliducto).

En el pretensado existieron pérdidas, las cuales las podemos agrupar en:

- Contracción del concreto.
- Deformación elástica del concreto.
- Relajamiento del concreto.
- Curado a vapor.
- Anclaje de mordazas.
- Fricción del gato hidráulico.

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

Para el traslado de las Trabes de la mesa de tensado a su lugar de estiba, transportación y montaje, se colocaron 8 ganchos de izaje.

Una vez terminado el tensado de los torones, nivelado y revisado de los accesorios y recubrimientos, se procedió al colado del elemento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El colado del elemento se llevó a cabo mediante concreto estructural premezclado  $f'c = 400 \text{ Kg/cm}^2$ , de alta resistencia, manejable en estado fresco; durante el colado del elemento se cuidó el vibrado del mismo, para evitar la presencia de aire que pueda restar adherencia entre acero y concreto.

El proceso constructivo del colado de las Trabes fue el siguiente:

Con cimbra tipo lámina de cartón se colocó en medio del armado de la trabe, que le dio el espesor a las nervaduras de las trabes, además sostendría la losa superior, dejando así a las trabes huecas por su parte central. Se colocaron las fronteras, rectas o pecho de paloma (esto para las Trabes de los extremos), según fue el caso. Se procedió al armado de la losa superior. Se realizó el colado del elemento por medio del canalón directo de la olla. Este concreto se le aplicó aditivo fluidizante para garantizar que el concreto llegue hasta la losa de fondo y evitar oquedades en las paredes y el fondo (el espesor de ambos fue de 15 cm). El acabado de la losa fue rugoso y esto se logró rallando el concreto con un rastrillo metálico. Debido a la longitud de la Trabes, cuando se terminó de colar la pieza, el concreto del inicio ya había iniciado su fraguado inicial. Entonces se empezó a retirar la cimbra interior del aligeramiento. Siguiendo el tiempo mínimo de reposo, después de colada la pieza fue de 3 hrs. Se introdujeron los cilindros de concreto dentro de la Trabe, se cubrió la pieza con lona y por último se aplicó el curado a vapor a una Temperatura aproximada de  $70^\circ \text{C}$  y en un tiempo de 8 a 12 hrs. Con este procedimiento se pudo tener una producción promedio de 1.5 piezas por día.

Todas las actividades anteriores son inmediatas de manera que no se interrumpió el colado de la Trabe; el tiempo de colado aproximado fue de 6 hrs continuas.

El curado a vapor se suspendió hasta que el concreto alcanzara el 80 % de resistencia de su  $f'c$  por proyecto, y este se verificaba mediante el ensaye de cilindros en el laboratorio. Una vez que se alcanzó el 80 % de resistencia se procedió al destensado (corte de torones), el corte se llevo a cabo pieza por pieza, cortando primero con soplete de un lado de la Trabe y/o simultáneamente en el otro lado el mismo torón, a una distancia mínima de 1.0 m.

El corte de los torones uno a uno fue con el objeto de equilibrar las fuerzas de tensión y de evitar que la pieza se deformase.

Una vez que han sido cortados todos los torones se procedió a retirar la pieza del molde, esto se hizo tomando la Trabe por los ganchos de izaje, para colocarlos al transporte y trasladarlos a su lugar de estiba en la planta, posteriormente se cortaron todos los torones al ras de la Trabe con disco.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## VII.2 ALMACENAMIENTO EN PLANTA

El almacenamiento de los elementos prefabricados en planta se realizó en los patios de ésta, de tal forma que su suministro a la obra no ocasionara que los elementos se estuvieran cambiando de posición.

Así mismo estos elementos se apoyaron sobre durmientes de madera ó elementos de concreto presforzado, en número tal que soportará el peso de las traveses, la posición de estos soportes fue como se indica a continuación:

Para apoyar las T.A. los soportes se colocaron en la zona de huecos, donde se localizan los ganchos de izaje, que presentan las traveses, esto es presentando un voladizo por extremo, que fue como quedó en su posición definitiva en el puente.

Para apoyar las T.C. la ubicación de los soportes se hizo en la parte cercana a los extremos de la pieza, quedando libre la parte central, es decir, en la zona donde se localizan los ganchos de izaje de la trabe, dejando el elemento sólo apoyado en sus extremos, que fue como quedó en su posición definitiva en el puente.

## VII.3 TRANSPORTE

Una vez que los elementos prefabricados fueron aprobados para su traslado (esto fue el detallado total de la trabe), se procedió a su transportación, En unidades especiales para este tipo de elementos, tomando en cuenta las dimensiones y el peso de los mismos, así como su trabajo estructural definitivo, para no provocar incrementos en los esfuerzos al elemento.

Lo anterior establece para la transportación de las T.A. y T.C., se apoyaron en tractocamiones y en vehículos especiales (módulos o dollys), estos últimos colocados en los extremos del elemento o cercano a la zona de los ganchos de izaje, sirviendo la misma pieza de chasis o estructura de conexión.

En todos los casos se verificó las condiciones de sujeción de las piezas, los soportes que garantizaron su estabilidad y llevaron letreros con indicaciones de transporte de pieza de largo excesivo, las piezas fueron escoltadas por carros pilotos, provistas de torretas, para prevenir y evitar accidentes, dada su magnitud y peso de las piezas, su transportación fue lenta (la velocidad promedio fue de 15.0 km/hr) y de maniobras complicadas sobre todo en maniobras de vuelta y a la llegada a la obra.

La transportación se hizo en horarios nocturnos, para lo cual se realizó un estudio de trayecto, localizando las calles por donde transitarían las traveses.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### **VII.4 ALMACENAMIENTO AL PIE DE OBRA**

Una vez que las piezas fueron llegando a la obra se procedía a su colocación definitiva, pero si por alguna razón no prevista esto no pudiera hacerse, la pieza quedaría de preferencia sobre el sistema de transporte tal como salió de la planta.

Cuando esto no fue posible entonces se almaceno a pie de obra, quedando lo más cercano a su posición definitiva, para lo cual la pieza se apoyo de la misma manera en que estaba apoyada en la planta, por ningún motivo se permitió que estos sirvieran de apoyo a otros, es decir, que quedarían apilados.

#### **VII.5 MONTAJE**

Debido a la necesidad de contar con una conexión monolítica entre columnas, las T.A., y las trabes transversales (que en lo sucesivo las llamaremos cabezales), de formar marcos sismo-resistentes en la dirección transversal, fue necesario que el acero de refuerzo de las columnas se continuara en su extremo superior, hasta llegar al firme.

En la losa inferior de las T.A. se dejo un hueco para que por el pasara el acero principal de las columnas, en esta misma zona se ubicaron los cabezales, cuyo refuerzo longitudinal y transversal se cruzan con el acero de refuerzo de las columnas.

Posteriormente, se cuela el cabezal, para formar de esta manera una conexión monolítica entre las columnas las T.A. y los cabezales.

Las T.C., se montaron sobre las T.A., por medio de unas conexiones resueltas mediante placas metálicas, pernos y apoyos de neopreno, (móviles y fijos).

Con el montaje de las T.A., T.C. y la construcción del cabezal, se integra una estructura tal que forman dos sistemas de marcos sismo-resistentes.

Los marcos que se formaron en la dirección norte-sur coinciden con el eje longitudinal del puente, integrado por tres columnas y uno de tres elementos de los denominados de apoyo, T.A., en esta dirección se formaron 21 marcos de las mismas características.

Los marcos que se formaron en la dirección este-oeste, coinciden con el eje transversal del puente, y esta integrado por 3 columnas y una viga transversal de concreto (cabezal), parcialmente prefabricada, en esta dirección se formaron 28 marcos de este tipo.

Las T.A. y T.C. en conjunto con los cabezales y los diafragmas metálicos, formaron una retícula plana que permite que el puente presentara un comportamiento satisfactorio para soportar las cargas vivas móviles.

**VII.5.1. MONTAJE DE TRABES T.A.**

Una vez que las piezas llegaron a la obra se procedía a su colocación definitiva, esto es solo para las T.A. centrales, las demás traveses se fueron distribuyendo en lugares estratégicos dentro y/o cerca de la obra.

El procedimiento de montaje de las T.A. fue el siguiente:

Para la ejecución de los montajes fue necesario el trazo de los ejes sobre los capiteles y las traveses, estos fueron pintados con pintura de esmalte en forma triangular, que fueron colocados con ayuda de equipo topográfico.

Los ejes de la trabe concordaron con los ejes de los capiteles de las columnas, esto con el fin de evitar que las traveses pudieran recorrerse e impedir el montaje de otra trabe.

Se procedió a levantar la pieza con dos grúas estructurales con la capacidad suficiente para soportar el peso de las traveses, es importante señalar que una vez que se inició el proceso de montaje este no se suspendió hasta que la pieza quedo en su posición definitiva.

La siguiente tabla muestra el número y tipo de trabe, localización y tipo de apoyo que le correspondió a cada una de las traveses del puente.

ZAPATA	EJES	TIPO DE TRABE		Nº DE TRABES	TIPO DE APOYO
T. C. T. A.					
Muro estribo	1-2	X	---	5	1a, 1b, 1c, 1d, 1e.
Z-5	2-3	---	X	5	1a, 1b, 1c, 1d, 1e.
---	3-4	X	---	5	2a, 2b, 2c, 2d, 2e.
Z-4	4-5	---	X	5	2a, 2b, 2c, 2d, 2e.
---	5-6	X	---	5	3a, 3b, 3c, 3d, 3e.
Z-3	6-7	---	X	6	3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f.
---	7-8	X	---	6	4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f.
Z-1	8-9	---	X	6	4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f.
Periférico	9-10	X	---	6	5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f.

69

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Z-2	10-11	---	X	6	5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f.	MOVIL-FIJO
---	11-12	X	---	5	6a, 6b, 6c, 6d, 6e.	FIJO-MOVIL
Z-4	12-13	---	X	5	6a, 6b, 6c, 6d, 6e.	MOVIL-FIJO
---	13-14	X	---	5	7a, 7b, 7c, 7d, 7e.	FIJO-MOVIL
Z-5	14-15	---	X	5	7a, 7b, 7c, 7d, 7e.	MOVIL-FIJO
Muro estribo	15-16	X	---	5	8a, 8b, 8c, 8d, 8e.	FIJO-MOVIL

TOTAL DE TRABES T. C. y T. A.	42	38	80	TRABES EN TOTAL
----------------------------------	----	----	----	-----------------

Una vez ubicada la pieza, se procedió al estrobar mediante los ganchos de izaje de la trabe indicados para ello.

Cabe mencionar que las piezas estuvieron suspendidas solo el tiempo necesario para lo cual se verifico de antemano que no hubiese elementos extraños al montaje, esto con el fin de tener la pieza suspendida el menor tiempo posible y evitar el traspaleo innecesario. El peso aproximado de las T.A. de 1.40 m, fue de 80 ton.

La siguiente tabla muestra la posición, tipo y número de las T.A. sobre las columnas en el sentido del cadenamamiento, de sur a norte con respecto al cruce del periférico.

ZAPATA	ELES	TIPO	Nº DE TRABE	POSICION DE TRABES	COLUMNA S IZQS. 1	COLUMNAS CENTRALES 2	COLUMNAS DER. 3
Z-5	2-3	T. A.	5	1a, 1b, 1c, 1d, 1e.	1a-1-1b	2-1c	1d-3-1e
Z-4	4-5	T. A.	5	2a, 2b, 2c, 2d, 2e.	2a-1-2b	2-2c	2d-3-2e
Z-3	6-7	T. A.	6	3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f.	3a-1-3b	3c-2-3d	3e-3-3f
Z-1	8-9	T. A.	6	4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f.	4a-1-4b	4c-2-4d	4e-3-4f
Z-2	10-11	T. A.	6	5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f.	5a-1-5b	5c-2-5d	5e-3-5f
Z-4	12-13	T. A.	5	6a, 6b, 6c, 6d, 6e.	6a-1-6b	2-6c	6d-3-6e
Z-5	14-15	T. A.	5	7a, 7b, 7c, 7d	7a-1-7b	2-7c	7d-3-7e

				7e.			
--	--	--	--	-----	--	--	--

A la unión de columna-trabe se le llamo diafragma, y a la unión trabe-columna-trabe se le llamo cabezal que como ya mencionamos es una trabe transversal al eje longitudinal del puente.

### VII.6. CABEZALES Y DIAFRAGMAS

Una vez que fueron colocadas todas las T.A. se procedió al armado del cabezal, esta unión funcionó como una viga madrina que une estructuralmente a las columnas con las traves prefabricadas, también distribuyen en los apoyos las cargas originadas por peso propio de las traves prefabricadas y sus cargas de trabajo.

La diferencia entre los dos tipos de cabezales, fue principalmente de geometrías, pues su peralte fue similar al de la trabe prefabricada; siendo los cabezales CB-2 los de mayor altura, sólo presento variaciones en la posición de varillas y en la cantidad de acero.

La ubicación de dichos cabezales fue la siguiente: cabezal CB-1 en las zapatas Z-3, Z-4 y Z-5, con traves de 1.40 m, y el cabezal CB-2 en las zapatas Z-1 y Z-2.

#### VII.6.1. ARMADO DE DIAFRAGMAS

Una vez que fueron colocadas todas las T.A. en las columnas (de una zapata) se procedió al armado de los diaframas, el habilitado de acero se hizo afuera del cajón-cimbra.

Primeramente se colocan las varillas del lecho bajo de la trabe, atravesando esta, por los huecos que fueron dejados para este fin, también existieron conductos para el paso del postensado.

Cabe mencionar que el acero del lecho superior del diafragma fue sobre las traves, por lo que se requirió colocar el acero del No. 10 en dos secciones unidas posteriormente por soldadura (bulbos).

En las partes laterales del cajón-cimbra sobresalían varillas del No. 10 que fueron soldadas por los costados a varillas adicionales (a esta soldadura se le conoce con el nombre de filetes).

El acero faltante de estribos horizontales y longitudinales se realizó con acero del No. 4, los estribos horizontales fueron de la misma forma y distribución que los estribos de las columnas, ya que estos fueron colocados en las varillas sobresalientes de la columna.

Para el armado del cabezal CB-2, se realizó con las mismas características del cabezal CB-1 en lo que se refiere a acero, este armado se realizó más rápido ya que las dimensiones de dicho cabezal fueron mayores (2.0 m. de altura) y se pudo trabajar con mayor comodidad.

Cabe mencionar que en el cabezal CB-2 no hubo la necesidad de soldar varillas (bulbos) ni de realizar filetes de soldadura en las paredes de dicho cabezal, por no contar las trabes con cajón-cimbra.

Para el diafragma, el armado consistió en prolongar el acero (estribos), de las varillas de la columna.

En la parte final de estas varillas se remató con un accesorio metálico a base de placa de 19 mm de espesor y con la forma de la columna (circular u oblonga), las placas fueron atravesadas por las varillas y cortadas al ras de la placa, finalizando con la aplicación de soldadura.

Simultáneamente al armado se colocaron conductos para el postensado estos conductos fueron de lámina corrugada en el sentido transversal al conducto, la corrugación fue con el objeto de dar rigidez a los conductos. Así mismo, este corrugado garantizó la adherencia con el concreto sin perder flexibilidad, además estos conductos fueron sellados herméticamente con cinta, para impedir la penetración del concreto dentro del conducto, trayendo como consecuencias que no fuera a permitir el libre corrimiento del cable dentro del conducto.

#### VII.6.2. COLADO DE CABEZALES Y DIAFRAGMAS

Una vez terminado el armado de los cabezales y los diafragmas, y colocados los conductos para el postensado se procedió al colado de estos, el concreto utilizado fue premezclado  $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$ , con revenimiento por proyecto de 12 cm.

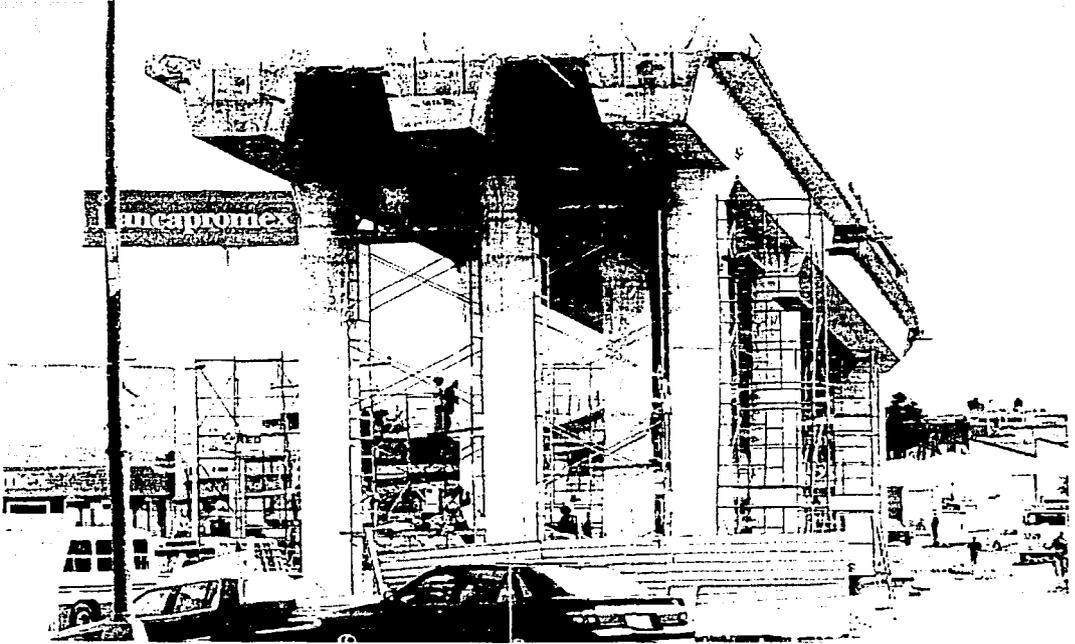
Con el fin que el concreto llenara en su totalidad el cabezal y los diafragmas a su vez que adquiriera la resistencia en poco tiempo, al concreto se le agregó:

- Expansor de volumen en cantidad igual a 3.85 Kg/m<sup>3</sup>
- Fluidizante en cantidad igual a 1.10 Lt./m<sup>3</sup>
- Acelerante en cantidad igual a 1.00 Lt./m<sup>3</sup>

Estos aditivos se vaciaron directamente en la olla de concreto.

Como los cabezales se localizaron sobre las T.A. y no hubo acceso directo el colado se realizó por medio de ollas de concreto, utilizando bomba telescópica, para estos casos. Cabe la observación de que en los cabezales que no tuvieron cajones-cimbra, fueron cimbrados con hojas de triplay de acabado aparente para darle el mismo acabado

que la trabe. Con este procedimiento se pudo obtener la resistencia al 80 % de su  $f'c$  por proyecto a los 3 días, para posteriormente dar inicio al postensado.



### VII.6.3. DIAFRAGMAS METÁLICOS

Posteriormente al colado de los cabezales y diafragmas, se colocaron los diafragmas metálicos, que son estructuras de tubería de acero de 4" de diámetro y cédula 40.

El diafragma metálico es una estructura situada entre dos traveses y sirve para evitar movimientos de volteo de las mismas por torsión, ocasionadas por cargas de trabajo, están distribuidos en los claros entre los cabezales, rigidizando la posición de las traveses.

Las preparaciones para unirlos son las que anteriormente se habían dejado, desde la fabricación de las traveses.

La colocación de los diafragmas es la siguiente:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se colocaron dos tubos de las partes superiores de las traveses por unir y convergen al centro en forma de "V", uniéndose a un tubo horizontal que une a las traveses por la parte inferior, la unión de los tubos se realizó con soldadura eléctrica y el punto de unión es reforzado con media caña de placa rolada cédula 40, fijada en todo su borde con soldadura.

Por cada dos T.A. se colocaron 2 diafragmas metálicos y por cada T.C. se colocaron tres.

#### VII.6.4. POSTENSADO

Una vez adquirida la resistencia en cabezales y diafragmas, que en lo sucesivo llamaremos trabe transversal, se procedía al postensado de dicha trabe.

El postensado se realizó de un solo lado, dejando un extremo fijo de la siguiente forma:

Mediante un mango de madera maciza, se golpeo al cono macho hacia el interior del cono hembra, hasta que el primero sobresalió unos 15 cm de la superficie exterior del cono hembra. Durante el tensado, el cable se fue corriendo de este extremo hacia el interior de la trabe, fijándose completamente al final del tensado; estos corrimientos se registraron durante el tensado y se restaron los alargamientos que fueron observados en el extremo opuesto, donde opero el gato. Posteriormente se obtuvieron las elongaciones finales. En el extremo opuesto, que funcionó como anclaje móvil, primero se retiró un tramo de resorte central, el cual se cortó al ser armado, (1.20 m del extremo del cable), para permitir las operaciones del tensado.

A continuación se describirá el proceso del postensado:

Se instala el gato hidráulico, el cual está ranurado en su chasis, a fin de permitir el paso de los alambres (torones); el diámetro de estos fue de ½" la base, del gato hidráulico se sienta sobre una pieza llamada corona de apoyo, la cual está en contacto con el cono hembra. Los torones son agarrados al cuerpo del pistón de gato hidráulico mediante cuñas, en la forma en que se explicó anteriormente. Al inyectar agua limpia y aceite en el tubo de entrada, el pistón es desplazado en el sentido opuesto a la trabe, arrastrando consigo los torones. La tubería de alimentación que proviene de la bomba de inyectado y que conecta con la entrada, son de alta presión, debido a sus condiciones propias de trabajo que llegaron a ser hasta 450 Kg/cm esencialmente la bomba de inyectado consiste en un tanque metálico y dos pistones concéntricos, que se operan a mano, mediante una palanca. Esta bomba dispone de un manómetro acoplado para medir presiones y una válvula que sirve para mantener ó aliviar la presión del gato hidráulico. El alargamiento total del cable se logra en etapas, elevando la presión aplicada al gato hidráulico, en incrementos de 50 Kg/cm<sup>2</sup>, con el objeto de registrar los alargamientos respectivos, a diferentes esfuerzos de tensión. La carrera permisible del pistón es tal, que no es necesario recibir el cable provisionalmente durante su tensado para enmendarla. A continuación se cierra la válvula que regula la

entrada, inyectando ahora agua por la entrada para operar el pistón que acuña al cono macho que entra en el cono hembra, oprimiendo firmemente los torones contra este. El desplazamiento del gato hidráulico de bombeo, es regulado por presión manométrica. Se abren las válvulas para descargar el gato hidráulico, hasta llegar a la presión cero, y se continúa bombeando hasta cerrar el gato hidráulico y botar las cuñas que amordazan los torones en el pistón. Al soltarlo, se registra un corrimiento del torón hacia adentro de la trabe, que aparte de corresponder a la recuperación elástica del tramo del torón, entre cono y cuña de agarre del gato hidráulico, indica especialmente que el cable ha quedado fijado. Finalmente, se corta el torón, dejando hacia afuera de la superficie de la trabe saliente, dejando 15 cm aproximadamente, que se doblan hacia afuera, rellenando a continuación con una pasta de agua-cemento los huecos entre los conos macho y hembra. Una vez endurecida la pasta, se procede a continuación a la inyección de la lechada coloidal de cemento introducida a presión. El objeto principal de la lechada endurecida es el de evitar la corrosión de los torones, así como proporcionar adherencia entre los torones y la trabe transversal.

El equipo utilizado fue un gato hidráulico tipo S-6 con posiciones alrededor de exterior del gato para alojar 8 torones, cada torón fue tensado a 13 700 Kg. Para cada trabe transversal el proceso de postensado se utilizó en 8 ocasiones, que son el número de huecos dejados para esta actividad.

#### VII.7 MONTAJE DE TRABES T. C.

Terminadas las actividades del Postensado de las T.A., y colocación de los diafragmas metálicos, se procedió al montaje de las T.C., para realizar este montaje se colocó una base de concreto autonivelante de alta resistencia llamado zoclo de nivelación, en el "Tacón" de la T.A.

Para realizar la fabricación del zoclo de nivelación, se procedió a medir la geometría de las T.A. "Tacón", y la geometría de las T.C. "Nariz".

El procedimiento para la fabricación del zoclo fue el siguiente:

Se realizaron las sumas de la geometría de la T.A. "Tacón", más el espesor de las bases de neopreno, dependiendo del tipo de apoyo (fijo ó móvil), se resta a la suma de la geometría de las T.C. "Nariz". La diferencia entre estas operaciones dio como resultado el espesor del zoclo de nivelación; dicho zoclo tuvo la función de dar el espesor necesario para alcanzar los niveles de proyecto de las T.A. Una vez teniendo las dimensiones del zoclo de nivelación, se procedió a su colado con concreto autonivelante  $f'_{c} = 500 \text{ Kg/cm}^2$ , que es un producto químico libre de cloruros, de alta resistencia. Sobre el zoclo de nivelación se asentaron las bases de neopreno, el cual tuvo la función de evitar el contacto directo de los concretos, esto es el concreto del "Tacón" de la T.A. con el concreto de la "Nariz" de la T.C.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las dimensiones de las bases de neopreno fueron las siguientes:

250 x 350 x 57 mm, con capacidad de carga de 120 Ton para apoyo fijo. 200 x 300 x 44 mm, con teflón reforzado de 3mm de espesor, con capacidad de carga de 72.5 ton para apoyo móvil. Para apoyo fijo se utilizaron una pieza de neopreno por trabe, en total se utilizaron 38 piezas. Para apoyo móvil se utilizaron dos piezas de neopreno por trabe, en total se utilizaron 76 piezas. Es importante señalar que al igual que el montaje de las T.A., cuando se empezó el montaje de la T.C. este no se suspendió hasta que se montara en su totalidad la pieza en cuestión, en su posición definitiva.

Para el montaje de las T.C. principales, las que cerraron el puente en su totalidad esto es sobre la Calz. Vallejo, se requirieron de dos grúas, con la suficiente capacidad para soportar el peso de estas traveses (140 t).

Estas maniobras se realizaron en horario nocturno, con el cierre de las vialidades cercanas a la obra previa autorización del G.D.F.

Una vez que fueron colocadas las bases de neopreno se procedió al montaje de las T.C., sobre las T.A., la siguiente tabla muestra la localización, tipo y número de trabe y posición de traveses que le correspondió a cada una en el sentido del cadenamiento de sur a norte con respecto al cruce del Periférico.

EJES	TIPO y Nº DE TRABE	POSICIÓN DE TRABES	TRABES IZQS. T. A. 1	TRABES CENTRALES T. A. 2	TRABES DERS. T. A. 3	
1-2	T. C.	5	1a, 1b, 1c, 1d, 1e	1-1a, 1-1b	2-1c	3-1d, 3-1e
3-4	T. C.	5	2a, 2b, 2c, 2d, 2e	1-2a, 1-2b	2-2c	3-2d, 3-2e
5-6	T. C.	6	3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f	1-3a, 1-3b	2-3c, 2-3d	3-3e, 3-3f
7-8	T. C.	6	4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f	1-4a, 1-4b	2-4c, 2-4d	3-4e, 3-4f
9-10	T. C.	6	5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f	1-5a, 1-5b	2-5c, 2-5d	3-5e, 3-5f
11-12	T. C.	5	6a, 6b, 6c, 6d, 6e	1-6a, 1-6b	2-6c	3-6d, 3-6e

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

13-14	T. C.	5	7a, 7b, 7c, 7d, 7e	1-7a, 1-7b	2-7c	3-7d, 3-7e
15-16	T. C.	5	8a, 8b, 8c, 8d, 8e	1-8a, 1-8b	2-8c	3-8d, 3-8e

Al igual que en las T.A., también en las T.C. se colocaron diafragmas metálicos con las mismas características de fabricación, colocación y función.

Por cada dos traveses se colocaron 3 Diafragmas metálicos, uno más que las T.A. ya que la longitud de las T.C. fue mayor y se especifica por reglamento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO VIII OBRAS COMPLEMENTARIAS.**

Una vez que fueron colocadas todas las traveses T.A. y/o T.C., se procedió al armado y colado del firme de compresión, el cual tuvo la función de formar la pista de rodamiento vehicular, y fue donde se colocó la carpeta asfáltica.

**VIII.1 FIRME DE COMPRESIÓN**

Sobre las traveses se coló una losa de concreto armado a todo lo largo y ancho de las traveses; interrumpida solo por juntas constructivas a base de "peines", para evitar que se tuviera un colado monolítico que pudiera fracturarse con el movimiento generado por las cargas, y/o los hundimientos diferenciales, la principal función del firme de compresión fue unir y rigidizar las traveses prefabricadas.

**VIII.1.1 CIMBRADO DEL FIRME DE COMPRESIÓN**

La cimbra que se utilizó fue de acabado aparente, esto para darle el mismo acabado que traían las traveses y fue colocada abajo de los alerones entre la T. A. con T. A. y T. C. con T. C., la manera de sujetar la cimbra fue por medio de torzales (paquetes de alambres entrelazados), amarrados a las varillas apoyadas que se colocaron sobre los alerones de dichas traveses.

**VIII.1.2. ARMADO DEL FIRME DE COMPRESIÓN**

Una vez que fue colocada la cimbra se procedió al armado del firme de compresión, este armado se realizó con dos parrillas cada una en sentidos longitudinal y transversal, las varillas transversales al eje del puente fueron del # 5 y las longitudinales del # 4, ambas parrillas colocadas con una separación de 10 cm.

Fig. VIII.1.

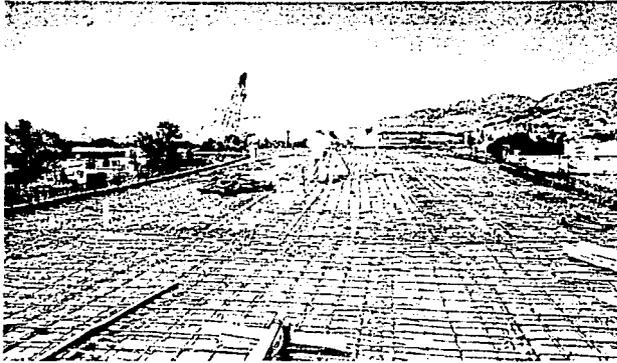


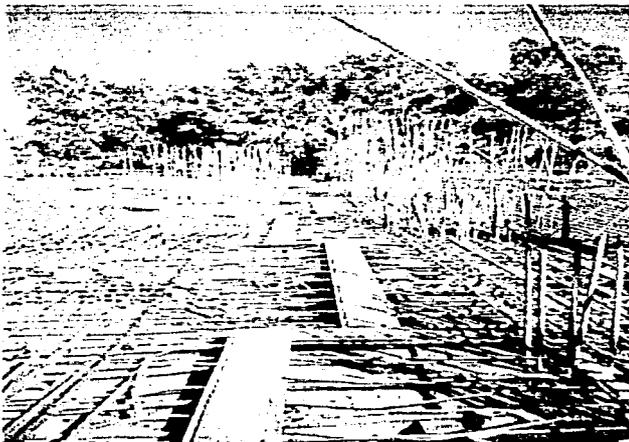
fig. VIII.1.

### VIII.1.3 ACCESORIOS

Simultáneamente al armado de la parrilla del firme de compresión, se colocaron los accesorios respectivos, como fueron:

- El armado del parapeto y deflector.
- Conductos de alumbrado sobre y bajo puente.
- Juntas constructivas de rodamiento (peines).

Estos peines se colocaron en los apoyos móviles para que la aparición de la "grieta" no tomara otra dirección, que no fuera la junta entre traveses como se muestra en la fig. VIII.2.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. VIII.2.

Además en la unión de trabe con traveses (T.A. con T.C), en los pernos se colocaron placas metálicas de  $\frac{1}{4}$ " de espesor de 15 x 20 cm, a manera de roldanas, y sobre estas las tuercas del perno. Estas roldanas fueron perforadas con el diámetro del perno (33 mm.), para apoyo fijo, mientras que para el apoyo móvil la perforación fue de forma oblonga del mismo diámetro y de 63 mm de longitud, con el fin de darle movilidad a la junta.

Además en la unión de las T.A. con las T.C. y bajo los peines se colocó junta de celotex para garantizar el funcionamiento de los peines y de los apoyos fijos y móviles, como se ve en la fig. VIII.3.

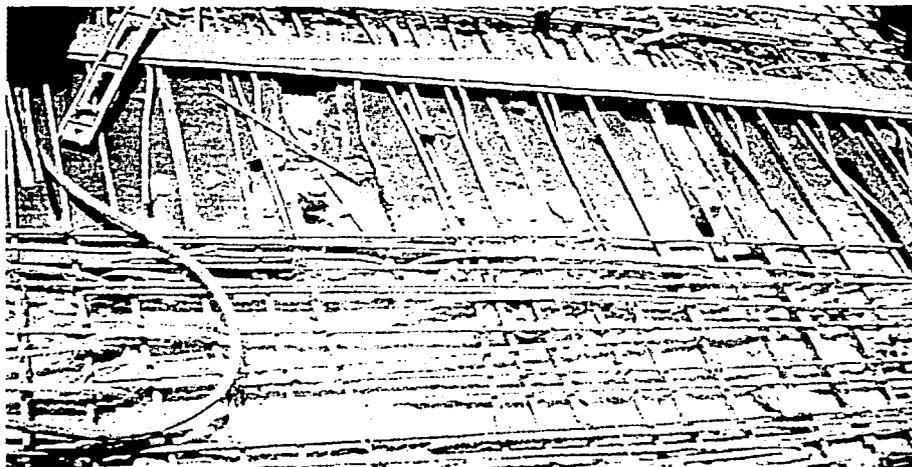


fig. VIII.3.

#### VIII.1.4 COLADO DEL FIRME DE COMPRESIÓN

Colocados todos los accesorios correspondientes se procedió al colado del firme de compresión, previo a dicho colado se procedió a la medición directa, reticulando con hilo (reventones), las áreas previas al firme, para determinar cuanto volumen de concreto debería de colocarse.

Para esto se colocaron "maestras de concreto" y se midió directamente con flexómetro como se en la fig. VIII.4.

El concreto utilizado fue de 250 Kg/cm<sup>2</sup>, con revenimiento de 10 cm  $\pm$  2.5 por proyecto. Dicho colado se realizó directamente con olla, la cual llegó a la zona de colado, y se

vació directamente por medio de canalón de la misma olla, cuando la olla no tuvo acceso directo se realizó el colado con bomba telescópica. Es importante mencionar que la olla de premezclado podía pasar al día siguiente del colado por esta misma zona que para entonces ya había alcanzado una resistencia que permitía transitar sobre el firme.

### VIII.2 PARAPETO DE CONCRETO.

En los extremos del puente y al centro se colocaron los parapetos de concreto respectivamente, su principal función es la de brindar seguridad al usuario, ya que funciona como barrera para evitar que los vehículos puedan salirse del puente (cabe recordar que el puente en cuestión es de 2 carriles y un sobre ancho en la curva).



fig. VIII.4.

#### VIII.2.1 ARMADO DE PARAPETO DE CONCRETO

El armado del parapeto se realizó con 4 varillas del No. 6 ( $\frac{3}{4}$ "), dobladas en forma de anclas y soldadas a una placa de acero de  $\frac{3}{4}$ " de espesor y de dimensiones de 30 x 30 cm, dichas anclas como ya se mencionó quedaron ahogadas en el firme de compresión, sobre estas placas se colocaron posteriormente los accesorios metálicos (postes).

#### VIII.2.2 CIMBRADO Y COLADO DE PARAPETO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Colocadas y niveladas las placas se procedió a soldar los tubos metálicos (uno de 6" y 3 de 2" de diámetro) sobre un pie derecho de placa de geometría trapezoidal y un espesor de 1" y este fue colocado en ambos lados del arroyo en toda la longitud del puente, la separación con la que se colocaron los postes metálicos fue a cada 2.0 m. Después se procedió a cimbrar con madera de primera (con el fin de que el acabado fuera de similar forma al de las trabes), la geometría que se le dio a esta cimbra fue con el objeto de darle continuidad al diseño que ya traían las trabes en sus extremos (pecho de paloma). Terminadas las actividades de cimbra se procedió al colado de estos elementos, teniendo cuidado en los niveles de terminación, ya que posteriormente se colocaría la carpeta asfáltica y esta debería ser de un espesor de 7.5 cm. constante por proyecto.

El concreto utilizado para el parapeto fue  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ , premezclado, sobre los apoyos móviles en los peines, se interrumpió el armado y colado del parapeto con una junta constructiva a base de celotex, que permitiera los movimientos en conjunto con el resto del puente.

### VIII.3 PARAPETO METÁLICO

La función de estas estructuras metálicas fue de barras de contención para automóviles, en caso de presentarse un descontrol de los vehículos, y que actuara de manera sugestiva, que causara la sensación de seguridad al conductor al momento de transitar por el puente.

Estas estructuras metálicas fueron construidas con tubos de 6" y 2" de diámetro cédula 40, a manera de barandal, el proceso de armado fue el siguiente:

Como se mencionó anteriormente en el parapeto de concreto se dejó ahogado el pie derecho de placa de 6" de diámetro, que fue soldado a la placa que dio soporte a los barandales y de esta forma en conjunto a la estructura de protección. Una vez que se tuvieron en su posición, se procedió a ranurar el tubo con la geometría necesaria (boca de pescado) para que embonaran los tubos de 6" y un aumento "tacón" para los tubos de 2". Ver la fig. VIII.5.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

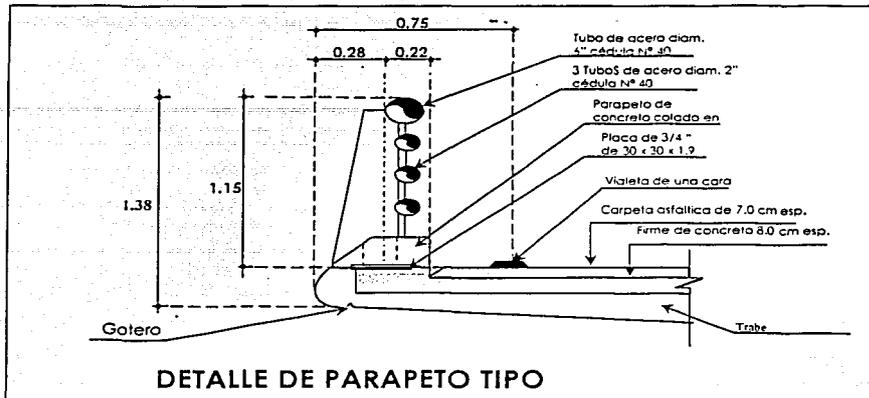


fig. VIII.5.

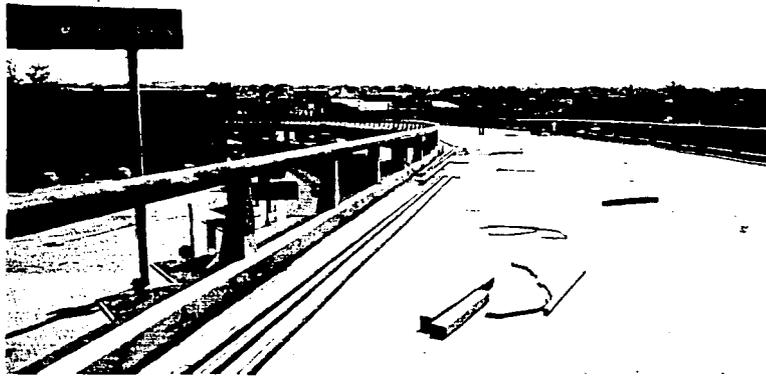


fig. VIII.6.

Comenzando con el tubo superior (6"), se punteo con soldadura eléctrica, se verificó su alineación y nivel, después se soldó en forma definitiva, posteriormente se hizo lo mismo con los tubos inferiores (2"), ambos tubos paralelos a la longitud del puente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### VIII.4 OBRA INDUCIDA

En el presente inciso mencionaremos brevemente las obras inducidas que interfirieron durante la construcción del puente así como la solución que se le dio a cada una, ya que este punto podría ser un amplio tema a desarrollar.

Durante el estudio de topografía de proyecto se detectaron varias obras que interferirían durante la construcción del puente, estas obras fueron:

- Acueducto de Guadalupe
- Rió de los Remedios
- Conductos de Telmex
- Conductos de alumbrado público
- Agua potable
- Obras de alcantarillado

Dichas obras se fueron resolviendo con la ayuda del Municipio de Tlanepantla y la Delegación Gustavo A. Madero. La principal fue la afectación de varias casas (propiedad privada) ya que interferían en el trazo longitudinal del puente las cuales se localizaban en la zona norte con respecto al cruce del periférico y Calzada Vallejo.

El alumbrado público también fue una obra que se afecto con la construcción del puente y esta fue a todo lo largo del mismo. La solución que se dio durante la construcción fue:

Colocar alumbrado provisional, para que tanto los peatones como los conductores de vehículos pudieran ver los señalamientos y letreros de zona de obra.

Otra obra inducida fue la reubicación de una tubería de 12" de Agua potable que se localizó dentro de una zapata de la gasa, la cual se localizaba en el eje de una contratrabe, la solución que se dio fue el desvío por fuera de la zapata.

Otras de las obras inducidas fue de la de alcantarillado, la cual con la construcción del puente se vio totalmente afectada, por lo que se tuvo que rehacer el proyecto de alcantarillado afectado y anexarle la captación pluvial proveniente del puente.

#### VIII.5 SOLUCIÓN PLUVIAL-OBRA DE ALCANTARILLADO

Como ya se mencionó se tuvo que rehacer el proyecto de alcantarillado agregando la captación pluvial del puente, se construyeron pozos de visita a lo largo de las rampas de acceso y dirigir su cause hacia los extremos del puente. Esta captación se llevó por tubos de albañal los cuales se conectaron posteriormente al alcantarillado existente de la vialidad que circula por la lateral del puente.

### VIII.6 SEÑALIZACIÓN

Antes y durante la construcción de cualquier obra se deben colocar señales que indique zona de obra, si es posible por medios de comunicación masiva (periódicos, radio y televisión), hacer llegar a la comunidad las posibles rutas a seguir durante la construcción de la obra en cuestión.

Durante el periodo de construcción del puente, se acondicionaron camellones para paso peatonal, formado por "pilones" a manera de postes y varillas horizontales del # 3 a manera de barandal unidos con alambre recocado, los cuales formaron las limitaciones con la obra.

Esta señalización continuamente se le realizaba mantenimiento con pintura en las varillas para que siempre estuviera visible aún de noche, cabe hacer notar que la señalización se realizó a todo el perímetro de la obra.

También se colocó señalamiento restrictivo como fueron "caramelos" con pintura reflejante, colocados en lugares cercanos a la obra y de mayor tránsito vehicular, así mismo, se colocaron letreros con diferentes leyendas:

- "Zona de obra"
- "Peligro excavación profunda"
- "Hombres trabajando"

Y un anuncio panorámico en el cruce de Periférico y Calz. Vallejo, con la leyenda: "AQUÍ SE CONSTRUYE EL PUENTE VEHICULAR PERIFÉRICO Y CALZADA, VALLEJO; construye el GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS, DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS".

### VIII.7 SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL

Concluidos los trabajos de riego de sello y retirado los excedentes se procedió a la colocación del señalamiento correspondiente; los señalamientos en el Puente se dividieron en dos partes:

- A. Señalamiento Horizontal: Son aquellos que se encuentran pintados sobre la superficie de la carpeta asfáltica, tales como rayas separadoras de carriles, de orilla, continuos, discontinuos, colocación de rodamiento, flechas, rayas transversales, etc. El señalamiento horizontal es de gran importancia para los conductores que transitan sobre las vialidades, principalmente a aquellos que conducen durante la noche. La conservación de estos trabajos deberá ser en forma permanente, repintando las zonas deterioradas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- B. Señalamiento Vertical: Son los elementos colocados al margen del camino con la intención de dar información ó señalar restricciones sobre el uso del puente, estos señalamientos fueron construidos en lámina colocados en tubos ó estructura de acero.

Dicho señalamiento consto de letreros como: límite de velocidad, precaución incorporación a puente, etc.

**CAPITULO IX TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS.****IX.1 MUROS LATERALES Y MURO ESTRIBO**

La función principal de la estructura que formaron los muros laterales y el muro estribo fue la de contener el material (terraplén) que sirve de acceso al puente, además de que fueron ser los apoyos de las traveses iniciales.

La sección del muro estribo se diseñó de tal manera que recibiera la forma de las traveses prefabricadas, los muros laterales fueron de sección trapezoidal y su altura fue decreciendo desde el muro estribo hasta el nivel de la vialidad existente.

**IX.1.1 CIMENTACION DE MUROS LATERALES Y MURO ESTRIBO**

Para la cimentación del muro estribo el proceso constructivo fue similar a lo antes aquí expuesto en el capítulo **IV. CIMENTACION**, por lo que solo mencionaremos las características técnicas empleadas:

Cimentación profunda con 5 pilotes en una sección cada una de 18.0 m, la geometría del muro estribo (corona) sobresalieron 4 pares de pernos similares a los de las traveses T.A. esto es pernos de acero, sobresaliendo 0.70 m. de los cuales 0.10 m. llevo cuerda normal en su terminación; el diámetro de los pernos fue de 1" (2.54 cm.) y resistencia a la tensión  $f_y = 10\ 500\text{ Kg/cm}^2$ .

En la corona del muro estribo se dejo la geometría adecuada capaz de recibir la geometría de las T.C.

El concreto utilizado en el colado del muro estribo fue premezclado  $f'c = 300\text{ Kg/cm}^2$ , en lo sucesivo le llamaremos muros laterales.

La cimentación de los muros laterales consistió en excavar hasta la profundidad de proyecto con medios mecánicos (retroexcavadora), terminada la excavación se procedió al colado de una plantilla de concreto pobre  $f'c = 100\text{ Kg/cm}^2$ .

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### IX.1.2 ARMADO Y CIMBRADO DE MUROS LATERALES Y MURO ESTRIBO

Una vez colada la plantilla se procedió al armado y cimbrado de la zapata del muro estribo, este armado se realizó con acero de refuerzo del No. 6 @ 15 cm en ambas direcciones, desde este armado se armaba también el acero de los muros laterales.

Se cimbró la zapata y posteriormente se coló con concreto estructural premezclado  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ . Posteriormente al colado de la zapata se continuó con el armado de los muros laterales esto es: se colocó el acero horizontal con varillas del No. 6 @ 15 cm, se plomeaba el armado y posteriormente se colocó la cimbra.

Cabe mencionar que dicha cimbra debía ser por la cara interior del muro con acabado común y por la parte exterior acabado aparente. Además en esta cara de la cimbra se colocaron en todo el perímetro del muro una "buña" de 10 cm de ancho por 2 cm de espesor, enmarcando de esta forma al muro.

También se colocaron en forma vertical "chaflanes" de 2 cm de ancho colocados a cada 2.0 m, esto con el fin de darle un acabado.

### IX.1.3 COLADO DE MUROS LATERALES Y MURO ESTRIBO

Después de haber plomeado y alineado la cimbra se procedió a colar los muros, con concreto estructural premezclado  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ , este colado era vaciado directamente de la olla por medio de los canalones que trae ella misma en todos los colados se vibró el concreto para expulsar el aire atrapado y también la segregación a través del canalón y evitar así juntas constructivas u oquedades que pudieran causar filtraciones hacia el interior de los muros y ocasionar corrosión al acero de refuerzo.

El descimbrado de los muros se llevó a cabo cuando el concreto fue capaz de autosoportarse, esto es que cuando el concreto adquirió la resistencia necesaria.

## IX.2 RAMPAS DE ACCESO

Las rampas de acceso dieron principio en el eje del muro estribo y con una pendiente descendiente hasta encontrar el pavimento existente que se encuentre a nivel de calle en esta zona.

Para lograr el ingreso al Puente se necesitó colocar un terraplén aligerado con tezontle y tepetate compactado; los muros de contención son la estructura de concreto armado que tienen como finalidad el confinamiento y contención de las terracerías que formaron las rampas de acceso.

### **IX.2.1 TERRACERIAS**

Las terracerías se colocaron entre los muros laterales y muro estribo; se excavó a una profundidad de 50 cm bajo el nivel de vialidad existente o hasta encontrar el terreno firme, dichas terracerías se formaron de las siguientes capas:

- Capa escarificada y recompactada
- Relleno aligerado, formado por tezontle
- Geotextil

#### **IX.2.1.1 CAPA ESCARIFICADA**

Con objeto de retirar cualquier material nocivo al comportamiento del terraplén, la capa escarificada, se excavó hasta encontrar terreno firme ó retirar el relleno, se escarifican 15 cm para realizar la compactación, dicha compactación fue del 85 % Proctor.

#### **IX.2.1.2 RELLENO ALIGERADO**

Sobre la capa escarificada se colocó el relleno aligerado a base de tezontle en capas de 50 cm compactándolo con equipo mecánico solo para acomodarlo y hasta un grado tal que no se rompiera la estructura del material.

Esta capa se colocó con el objeto de dar la pendiente necesaria, así como para drenar y romper la capilaridad de la estructura del terraplén, las características del material y su colocación, por requerimientos del proyecto fueron:

- El tezontle no deberá contener más del 30 % de fragmentos mayores a 4" y no más del 5 % de fragmentos mayores a 8", y no deberá contener partículas finas plásticas.

- En el desplante así como en la rasante de la sub-base se procurará que la granulometría del tezontle sea predominantemente arenosa.
- El tezontle se colocará en capas de espesor máximo de 50 cm, debiéndose acomodar por impacto al 95 % (mínimo) de su densidad relativa.
- El 20 % del Valor Relativo de Soporte (V.R.S.).

El material que pase la malla 40 deberá cumplir lo siguiente:

- Límite líquido----- 20 % (máximo)
- Índice plástico----- 7 % (máximo)
- Equivalente de arena----- 70 % (máximo)

Durante la colocación del relleno con tezontle se deberán colocar las estructuras de drenaje o cualquier otra instalación, así como satisfacer los niveles y pendientes de proyecto (la pendiente de los terraplenes y del perfil longitudinal del puente fue del 6 %), a fin de mantener constante el espesor del pavimento.

El acomodo del tezontle se realizó con equipo ligero para evitar el rompimiento del tezontle como se muestra en la fig.IX.1.

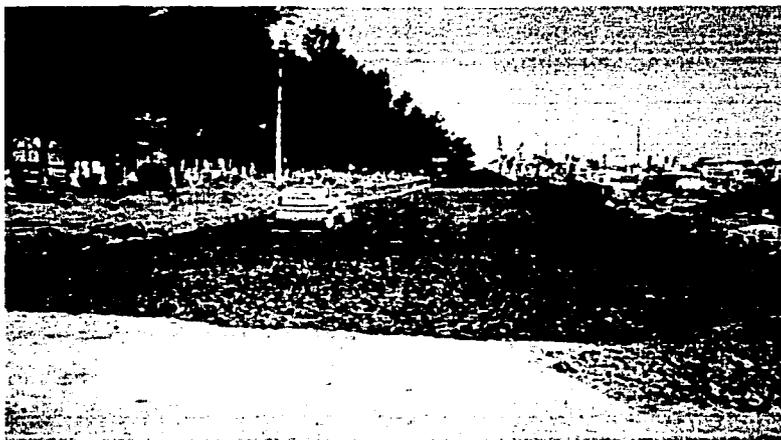


Fig. IX.1

### IX.2.1.3 MEMBRANA GEOTEXTIL

Una vez colocado el relleno aligerado y alcanzado el nivel de desplante de la capa de sub-base, se colocó una cubierta a base de membrana geotextil tipo pavitex.

La membrana geotextil es un filtro que puede ser no tejido y tejido de poliéster y polipropileno 100 % no biodegradable para el control de la erosión en obras hidráulicas, esta membrana tiene una aplicación en:

- Drenaje
- Filtración
- Separación
- Refuerzos
- Carreteras
- Aeropuertos
- Control de erosión
- Terracerías

Las características del material y su colocación, por requerimientos del proyecto fueron:

- Geotextil no tejido de fibras no biodegradables de poliéster, con espesor de 1.2 mm, 30 Kg de resistencia a la perforación, 1.1 Ton / m de resistencia a la tensión horizontal y 0.6 Ton / m de resistencia a la tensión transversal, coeficiente de permeabilidad de 0.06 cm / seg.
- El geotextil se colocará sobre el área designada (rampas de acceso) en paneles cosidos para minimizar la cantidad de traslapes, el cosido se hizo con hilo de poliéster, garantizando 650 Kg / m.
- Los traslapes que se realicen serán a 30 cm y en sentido contrario al flujo de la construcción, para evitar que el material (sub-base), penetrara por debajo de los traslapes.
- Encima de cada junta entre paneles cosidos o traslapes se colocaran paladas de material de la sub-base a cada 3.0 m para evitar que las juntas se desplacen.
- En las zonas donde no exista traslapes se colocara 1 palada de material sub-base por cada 5 m<sup>2</sup> que evitará que el viento levante el geotextil.

La colocación de la membrana geotextil fue la siguiente:

- Como ya se menciona, la superficie en donde se coloco el geotextil fue lo mas liso posible.
- Los rollos se desarrollaron a mano.
- Se evitó las arrugas del geotextil al momento de su colocación, se procuro de no pisar el material durante su colocación.
- El geotextil se mantuvo el menor tiempo posible expuesto a los rayos del sol (ya que las especificaciones del proyectista no contemplaron este punto), de ser así se hubiese sido necesario un tratamiento "especial" para soportar la acción de los rayos U.V.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. IX.2

### IX.3 PAVIMENTOS

Se puede definir un pavimento como la capa o serie de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías (terraplén aligerado) y la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica).

El pavimento será de tipo flexible uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, intemperismo, así como de transmitir a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas debidas al tránsito.

Los requisitos de los pavimentos son los siguientes:

- Debe ser estable, es decir, debe de tener la resistencia necesaria para soportar las cargas estáticas y dinámicas de rodamiento.
- Debe tener una superficie tersa para proporcionar comodidad a los usuarios, además, debe de ser resistente al desgaste ocasionado por las llantas de los vehículos.
- Debe tener una gran resistencia a los efectos de intemperismo.

- Debe ser impermeable, y
- Debe de tener adecuadas pendientes transversales y longitudinales para su mejor funcionamiento.

Los Pavimentos están compuestos por:

- Sub-base
- Base
- Riego de Impregnación
- Riego de Liga
- Concreto Asfáltico o hidráulico

La composición y dimensiones de los cuerpos de terracerías y de la pavimentación se muestran en la fig. IX. 3.

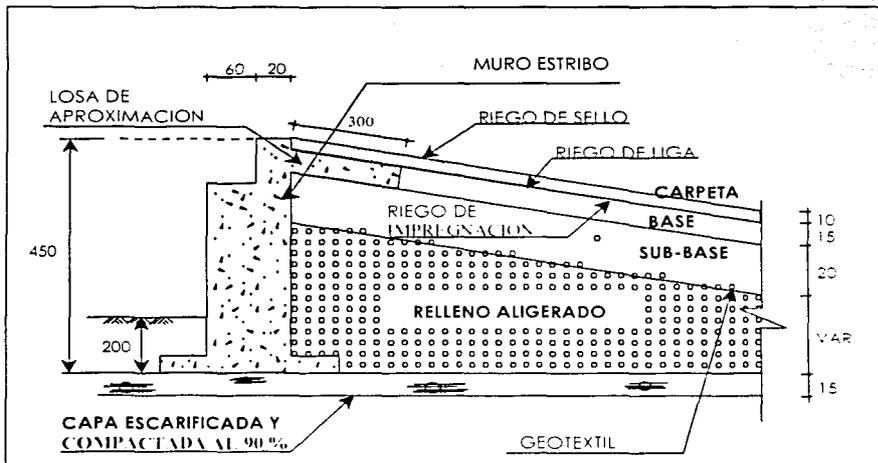


fig. IX.3

### IX.3.1 SUB-BASE

Sobre el terraplén, aligerado y previa la colocación de la membrana geotextil, se colocó la capa de sub-base, la cual se formó de dos capas, cuyo espesor máximo de cualquiera de ellas fue del 60 % del total, por proyecto, compactando la primera con rodillo neumático ligero, con la finalidad de que la compactación fuera uniforme.

FALLA DE ORIGEN

Dado que este equipo permite la compactación uniforme aún si existiera la presencia de irregularidades en la capa anterior, las características que el proyecto requirió se enlistan a continuación:

- Espesor----- 20 cm
- Compactación AASHTO modificada (T-180)----- 95 % (mínimo)
- Granulometría deseada----- zona 2
- Contenido de finos----- 25 % (máximo)
- Valor Relativo de Soporte Saturado (V.R.S.)----- 50 % (mínimo)
- Equivalente de arena----- 20 % (mínimo)
- Valor cementante----- 4.5 Kg / m<sup>2</sup> (mínimo)
- Contenido de partículas iguales o mayores a 2"----- 50 % (máximo)

La fracción que pase la malla 40 deberá cumplir con lo siguiente:

- Límite líquido----- 30 % (máximo)
- Índice plástico----- 6 % (máximo)
- Contracción lineal----- 4.5 % (máximo)

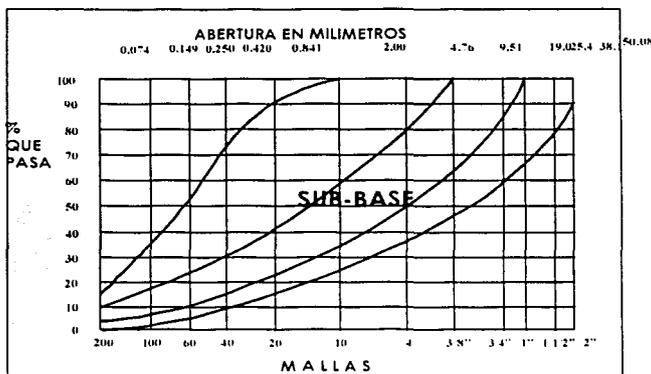


fig. IX.4

Para dar por terminada la capa de sub-base deberá verificarse el alineamiento, perfil sección, compactación, espesor y acabado de acuerdo con lo fijado en el proyecto con las siguientes tolerancias:

- Ancho de la sección----- + 10 cm
- Nivel de la superficie----- ± 1.0 cm
- Pendiente transversal----- ± 0.5 %
- Profundidad de depresiones con regla de 3 mm----- ± 1.5 cm
- Espesor----- ± 10 %

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En respecto de los materiales pétreos usados para formar la sub-base y base de los pavimentos flexibles, se clasificaron en tres grupos:

- a) Materiales naturales que no requieren ningún tratamiento de trituración ó cribado, tales como conglomerados, tepetates, gravas y arenas, de río, areniscas, etc.
- b) Materiales naturales que si requieren un tratamiento previo de cribado o trituración.
- c) Mezcla de dos o más materiales de cualquiera de los dos grupos anteriores o ambos.

El procedimiento constructivo para sub-base y base fue, en términos generales el siguiente:

Cuando se emplearon dos ó más materiales, se mezclaron en seco, con objeto de obtener un material uniforme. Se utilizó equipo adecuado para este tipo de trabajos, como fue el empleo de motoconformadora para el mezclado y el tendido, se extendió parcialmente el material y se procedía a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, para alcanzar la humedad por proyecto que se fijo, una vez obtenida la homogeneidad en granulometría y humedad, se procedió a extenderla en capas sucesivas de materiales sin compactar, cuyos espesores no fueron mayor de 15 cm. Cada capa extendida se compactó hasta alcanzar el grado mínimo de (95 %), sobreponiéndose las capas hasta que se obtuvo el espesor y sección fijados en el proyecto.

En las tangentes, la compactación se inicio de las orillas hacia el centro y en las curvas (rampa de la Gasa), de la parte interior de la curva hacia la parte exterior.

Se dieron riegos de agua, durante el tiempo que duro la compactación, únicamente para compensar la pérdida de humedad por evaporación.

Se aceptó la compactación con tolerancia de 2 %, se realizaron calas por cada 100 m<sup>3</sup> de material colocado.

A continuación se reproduce un ejemplo del cálculo de la sub-base.

- Peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.) = 1 537 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso volumétrico suelto máximo (P.V.S.Max.) = 1 891 Kg/m<sup>3</sup>
- Ancho promedio = 10.00 m
- Espesor = 0.20 m
- Longitud = 200 m.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Coeficiente de reducción por compactación =  $P.V.S.S./P.V.S.Max. = (1\ 537 / 1\ 891) = 0.813$

Ancho x Espesor x Longitud =  $(10.00) (0.20) (200) = 400.0\ m^3$

Metros cúbicos / Coeficiente por reducción =  $400.0\ m^3 / 0.813 = 492.0\ m^3$

Desperdicio = 10 %,  $(492.0 \times 0.10) = 49.2\ m^3$

Total de material suelto  $(492.0+49.2) = 541.2 \text{ m}^3$

Capacidad de camiones de volteo  $(8.0 \text{ m}^3)$

$(541.2 \text{ m}^3) / (8.0 \text{ m}^3) = 67.7$  camiones, = 68 camiones.

Nº de estaciones = longitud /  $20.0 \text{ m} = 200 / 20 = 10$  estaciones.

Nº de camiones por estación ( 68 camiones / 10 estaciones) = 6.8 camiones por estación.

@ cuanto = Estación / Nº camiones =  $20 / 6.8 = 2.94 \text{ m} / \text{viaje}$

Por lo tanto se depositará un camión a cada  $2.94 \text{ m}$ .

### IX.3.2 BASE

Habiendo cumplido la capa de sub-base con las especificaciones mencionadas se construyó posteriormente la capa de base, la cual se formó con al menos 2 capas cuyo espesor máximo de cualquiera de ellas fue del 60 % del total, con las características que el proyecto requirió se enlistan a continuación:

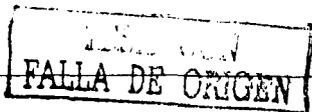
- Espesor----- 15 cm
- Compactación AASHTO modificada (T-180)----- 95 % (mínimo)
- Granulometría deseada----- zona 1
- Tamaño máximo de agregados-----  $1 \frac{1}{2}$ "
- Contenido de finos----- 10 % (máximo)
- Valor Relativo de Soporte Saturado (V.R.S.)----- 100 % (mínimo)
- Equivalente de arena----- 50 % (mínimo)
- Valor cementante-----  $3 \text{ Kg} / \text{m}^2$  (mínimo)

Las características para la tracción que pasó la malla 40 fue la siguiente:

- Límite líquido----- 30 % (máximo)
- Contracción lineal----- 3.5 % (máximo)

Para dar por terminada la capa de Base, se verifico el alineamiento, perfil, sección, compactación, espesor y acabado con lo fijado en el proyecto con las siguientes tolerancias:

- Ancho de la sección----- + 10 cm
- Nivel de la superficie-----  $\pm 1.0 \text{ cm}$
- Pendiente transversal-----  $\pm 0.5 \%$
- Profundidad de depresiones con regla de 3 mm-----  $\pm 1.0 \text{ cm}$
- Espesor-----  $\pm 6 \%$



El procedimiento constructivo fue el mismo que se mencionó en la sub-base.

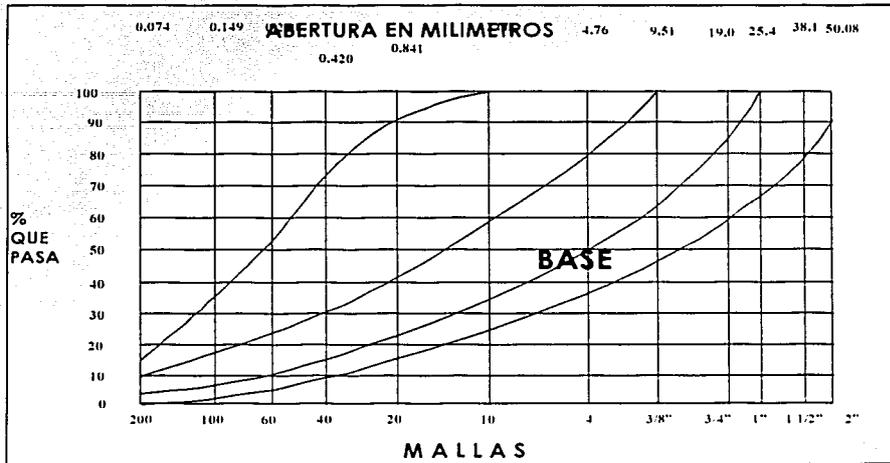


Fig. IX.5

A continuación se reproduce un ejemplo del cálculo de la BASE.

- Peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.) = 1 617 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso volumétrico suelto máximo (P.V.S.Max.) = 1 952 Kg/m<sup>3</sup>
- 80 % en volumen material banco Coatepec (Tepetate)
- 20 % en volumen material banco Calimaya (Grava)
- Peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.) = 1 593 Kg/m<sup>3</sup> (Coatepec); 1 304 Kg/m<sup>3</sup> (Calimaya).
- Coeficiente de reducción por mezclado =  $(P.V.S.S. \times \% \text{ Coatepec}) + (P.V.S.S. \times \% \text{ Calimaya}) / (P.V.S.S.)$   
 $= ((1\ 593 \times 0.80) + (1\ 304 \times 0.20)) / (1\ 617)$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$= 0.949$$

- Coeficiente de reducción por compactación =  $P.V.S.S./P.V.S.Max. = (1\ 617 / 1\ 952) = 0.828$
- Coeficiente de reducción por mezclado y compactación =  $0.949 \times 0.828 = 0.786$
- Ancho promedio = 10.00 m
- Espesor = 0.15 m
- Longitud = 200 m
- Ancho x Espesor x Longitud =  $(10.00) (0.15) (200) = 300.0\ m^3$
- Metros cúbicos / Coeficiente de reducción por mezclado y compactación =  $300.0\ m^3 / 0.786 = 381.68\ m^3$
- Desperdicio = 10 %,  $(381.68 \times 0.10) = 38.17\ m^3$
- Total de material suelto  $(381.68 + 38.17) = 419.85\ m^3$
- Material Coatepec Tepetate 80 % =  $335.88\ m^3$
- Material Calimaya Grava 20% =  $83.97\ m^3$
- Capacidad de camiones de volteo  $(8.0\ m^3)$
- $(335.88\ m^3) / (8.0\ m^3) = 41.98$  camiones = 42 camiones.
- $(83.97\ m^3) / (8.0\ m^3) = 10.50$  camiones = 11 camiones.
- N° de estaciones = longitud / 20.0 m =  $200 / 20 = 10$  estaciones.
- N° de camiones por estación  $(42\ camiones / 10\ estaciones) = 4.2$  camiones por estación.
- N° de camiones por estación  $(11\ camiones / 10\ estaciones) = 1.1$  camiones por estación.
- $\bar{q}$  cuanto = Estación / N° camiones =  $20 / 4.2 = 4.76\ m$  / viaje de material de Coatepec
- $\bar{q}$  cuanto = Estación / N° camiones =  $20 / 1.1 = 18.20\ m$  / viaje de material de Calimaya
- ∴ se depositará un camión a cada 4.76 m (Tepetate).
- ∴ se depositará un camión a cada 18.20 m (Grava).

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### X.3.3 RIEGO DE IMPREGNACIÓN

Una vez que la capa de base se aplicó con las especificaciones antes mencionadas, sobre la base seca libre de polvo y partículas se aplicó el Riego de Impregnación, el cual se aplicó durante las horas más calurosas del día, para esto se suspendió el tránsito por la zona a impregnar al rededor de 48 Hrs, como mínimo.

Las características del riego de Impregnación por proyecto fueron las siguientes:

- Producto asfáltico----- FM-1
- Relación producto asfáltico / área----- 1.5 Lt / m<sup>2</sup>
- Temperatura de aplicación----- 50 °C
- Penetración----- 3 mm (mínimo)
- Absorción total----- 24 Hrs (máximo)

### IX.3.4 RIEGO DE LIGA.

Aplicado el riego de impregnación y cumplido el tiempo requerido por proyecto (48 Hrs), se aplicó el riego de liga sobre la base y firme estructural, las características del riego de liga por proyecto se mencionan a continuación:

- Producto asfáltico----- FR-3
- Temperatura de aplicación----- 70 °C (mínimo)
- Relación Producto asfáltico / área----- 0.7 Lt / m<sup>2</sup>

### IX.3.5 CARPETA ASFALTICA.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La carpeta asfáltica, es la última capa del pavimento que sirve como superficie de rodamiento de una obra vial.

Una vez colocado el riego de liga y transcurridos 30 min se procede a la colocación de la carpeta asfáltica, a continuación se describen las diferentes temperaturas y características que el proyecto requirió en los procesos de la colocación de la carpeta asfáltica:

- Espesor----- 10 cm
- Compactación Marshall----- 95 % (mínimo) y/o 90 % de su Densidad teórica máxima
- Colocación del Concreto asfáltico----- 10 - 130 °C

- Compactación del rodillo liso----- 90 - 110 °C
- Compactación con equipo neumático----- 70 °C

El proceso constructivo de colocación de la Carpeta Asfáltica fue el siguiente:

- Una vez que se colocó el riego de liga, se procedió al "manteo" (aplicar con pala directamente del camión una capa de asfalto), cubriendo el área del riego de liga, esto con el fin de que el tránsito de construcción no levantara dicho riego.
- Se colocó la maquina terminadora ó finisher (su nombre en ingles), en posición e inmediatamente junto se coloca el camión de volteo que contiene la mezcla asfáltica, levantando despacio su caja al mismo tiempo que avanzaba a una velocidad comprendida entre 2 y 4 km / hr.
- Para que el concreto asfáltico cayera dentro de la banda sin fin que trae consigo la finisher (la Temperatura de tendido estuvo comprendida entre 100 y 130 °C).

De esta manera la finisher distribuyo en una franja de ancho promedio de 4.0 m, uniformemente el concreto asfáltico.

La manera que se verificó el espesor del asfalto fue por medio de los "escantillones", para ajustar la plancha que trae consigo la finisher, simultáneamente personal especializado "rastrillea" los posibles excedentes distribuyéndolos a lo ancho de la franja.

- Se midió la temperatura del concreto asfáltico tendido, con un termómetro especial para este tipo de actividades. (la temperatura de compactación estuvo comprendida entre 90 y 110 °C). posteriormente inicio actividades el equipo de compactación.
- La compactación inicial se hizo con rodillo liso tipo Tandem de 6 ton con una velocidad aproximada de 5 km/hr (para evitar el levantamiento de la mezcla caliente), se traslapo entre pasada y pasada, media rueda, con el objeto de darle acomodo inicial al material.
- Una vez que la compactadora tandem dejo huellas apenas perceptibles se procedió a compactar con rodillo liso con peso aproximado de 12 ton, hasta que las huellas de estas fueron muy leves.
- Se midió la temperatura de la carpeta compactada (la cual fue aproximadamente de 70 °C), posteriormente se procedió a la compactación final de la carpeta asfáltica.
- Esta se dio con un compactador neumático, (neumáticos de cara lisa), el objetivo de este compactado fue el de borrar las huellas que dejó el rodillo liso, se requirieron de varias pasadas del equipo neumático, las actividades se

suspendieron hasta que se dejó una superficie afinada y adecuada al tránsito vehicular, el peso aproximado del equipo fue de 5.5 ton.

Como ya se mencionó anteriormente en la zona donde se colocaron las juntas constructivas entre traveses prefabricadas, se colocaron estructuras metálicas "peines".

Estos "peines" se colocaron en los apoyos móviles y en forma alternada para que la aparición de la "grieta" no tomara otra dirección, que no fuera la junta entre traveses y para dar mantenimiento posterior. Se realizó el siguiente proceso constructivo de colocación de carpeta asfáltica:

- A lo ancho del puente y a partir del eje (1.15 m a cada lado), por proyecto, se aplicó riego de liga FR-3, posteriormente se colocara membrana geotextil con el debido cuidado, sin arranques ni frenados bruscos de los equipos de construcción, mientras se colocaba la carpeta asfáltica en el área antes mencionada.
- Colocando la membrana geotextil se procedió a saturarlo con cemento asfáltico No. 6 a razón de 0,9 lts/m<sup>2</sup>.
- Transcurridos 30 min se procedió a colocar la carpeta asfáltica.
- La carpeta asfáltica se formará con una sola capa de espesor constante a todo lo largo y ancho del puente, de similar manera se realiza para la otra franja y cuerpo del puente así como para la gasa.

La carpeta asfáltica después de terminada, debió de cumplir con las siguientes propiedades:

- a) Estabilidad.- La carpeta terminada debe resistir los esfuerzos del tránsito sin sufrir deformaciones permanentes.
- b) Flexibilidad.- La carpeta debe admitir las deformaciones elásticas impuestas por el tránsito sin fracturarse.
- c) Impermeabilidad.- Debe ser impermeable para evitar filtraciones de agua a las capas inferiores del pavimento.
- d) Antideslizante.- La superficie de la carpeta terminada deberá presentar una textura tal que permita al conductor el control adecuado del vehículo en condiciones de seguridad.
- e) Durabilidad.- La carpeta asfáltica debe ser suficientemente resistente a la acción del tránsito y a los agentes atmosféricos.

Para que lo antes expuesto se realizase, a continuación mencionaremos las características del material pétreo, mezcla y cemento asfáltico que el proyecto requirió:

**Material pétreo:**

- Granulometría----- zona 1
- Tamaño máximo----- 30 mm
- Contenido de finos----- 4 % (máximo)
- Desgaste de los "Ángeles"----- 30 % (máximo)
- Partículas de forma alargada----- 25 % (máximo)
- Absorción (sanidad)----- 5 % (máximo)
- Equivalente de arena----- 60 % (mínimo)

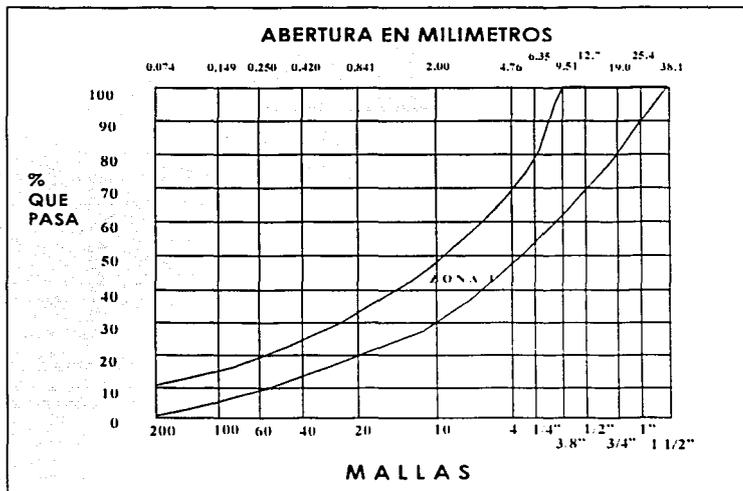


fig. IX.6

**Mezcla asfáltica:**

- Número de golpes por cara----- 75
- Estabilidad----- 900 Kg (mínimo)
- Flujo----- 4 mm (máximo)
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M.)  
respecto al volumen del espécimen de mezcla----- 13 % (mínimo)
- Porcentaje de vacíos en la mezcla respecto al volumen

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

del espécimen----- 3.5 %

#### Cemento asfáltico:

- Tipo----- N° 6
- Penetración----- 80 - 100 °C
- Viscosidad Saybult-Furot (a 135 °C)----- 85 °C (mínimo)
- Punto de inflamación (capa Cleveland)----- 232 °C (mínimo)
- Punto de reblandecimiento----- 45 - 52 °C
- Solubilidad en Tetracloruro de Carbono----- 95 % (mínimo)

#### Prueba de la película delgada 50 cm, 3. 5 hrs, 163 °C

- Penetración retenida----- 50 % (mínimo)
- Pérdida por calentamiento----- 1 % máximo)

La granulometría y forma del material pétreo deberá cumplir cuando menos con dos de los siguientes requisitos:

- Desprendimiento de asfalto por fricción----- 25 % (máximo)
- Cubrimiento con asfalto----- 90 % (mínimo)
- Pérdida de Estabilidad por inmersión en agua----- 25 % (máximo)

#### IX.3.6 RIEGO DE SELLO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Concluidos los trabajos de colocación de la carpeta asfáltica se aplico el riego de sello; el objeto del sello es alargar la vida útil del pavimento, aumentar la rugosidad de la superficie, sellar posibles fisuras y cerrar los poros de la carpeta asfáltica; y de esta manera evitar el envejecimiento prematuro del pavimento.

El sello tuvo como función penetrar en las "grietas" y "poros" de la superficie de rodamiento sellándola y evitando el paso del agua a las capas inferiores; proporcionando así una superficie antiderrapante.

Este riego de sello consistió en una "lechada" de cemento-agua, en proporción de 0.8 lts/m<sup>2</sup>, que fue aplicada a todo lo largo y ancho de la carpeta asfáltica y distribuida uniformemente con equipo menor (escobas).

**CAPITULO X CONTROL DE CALIDAD****X.1 PRUEBAS DE CONCRETO ASFÁLTICO****TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

El control de calidad que se efectuó en el puente fue el contemplado en todos aquellos alcances y/o términos de referencia de los conceptos, especificaciones particulares y generales. Tales acciones estuvieron planeadas y sistemáticamente se verificaron para proporcionar la confianza en un elemento estructural prefabricado, de un elemento colado en sitio funcionaran satisfactoriamente para el servicio que fue y comprende las acciones relacionadas con las características físicas de una material, que suministrará medios para controlar la calidad del material de acuerdo con los requisitos predeterminados.

**X.1.1 ARENAS Y GRAVAS (AGREGADOS)**

Los agregados que se emplearon en el puente ocuparon del 60 al 80 % del volumen de concreto, siendo este volumen y sus características las que influyeron en las propiedades del concreto así como en las proporciones y en la economía del mismo.

Los agregados del puente proceden de rocas que según su origen de rocas sedimentarias, es decir formadas por sedimentos transportados por agua, aire, hielo o gravedad. Predominan las areniscas y calizas estas últimas fueron las rocas que se utilizaron para obtención de los agregados utilizados para el puente, debido a que son duras y densas, y son buenos agregados. Estos se sujetaron a ciertos requisitos y constituyeron partículas limpias, duras, compactas y durables, libres de sustancias químicas, como son, capas de arcilla y otros materiales finos que pueden afectar la hidratación y adherencia de las pasta de cemento.

**X.2 CONCRETO ESTRUCTURAL**

Las revolturas para el concreto estructural del puente se sujetaron a las proporciones establecidas para su manejabilidad, durabilidad, resistencia entre otras propiedades. El concreto penetró fácilmente en las aristas de la cimbra y alrededor del refuerzo por medio de los métodos de consolidación sin segregación o aparición excesiva de agua libre en la superficie.

Un revenimiento de 8 cm es normalmente el utilizado para el concreto estructural que deba vibrarse adecuadamente en el momento de su vaciado en la cimbra.

### X.2.1 VIBRADO INTERNO

Para los concretos estructurales el método de vibrado se realizó por medio de la inmersión de vibrados normales.

### X.2.2 MUESTREO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para elementos estructurales, la muestra fue de 4 cilindros por cada 40.0 m<sup>3</sup> (o por cada día de colado). Los resultados a 7 días es con el objeto de predecir si la resistencia del concreto va o no a cumplir con su proyección a 28 días y se puedan tomar decisiones con oportunidad.

Cada resultado de compresión fue el promedio de los 2 cilindros y fue acompañado del resultado de una prueba de revenimiento.

Para volúmenes muy grandes de concreto hidráulico, el muestreo esta sujetó a la Norma Oficial Mexicana NOMC155 vigente, que en términos generales dice lo siguiente:

No. DE ENTREGA	VOLUMEN SUMINISTRADO	No. DE MUESTRAS RECOMENDADO	No DE MUESTRAS RECOMENDADO MINIMO
1	5	1	1
2 a 4	10 a 25	2	1
5 a 9	30 a 55	3	2
10 a 25	60 a 150	5	3
26 a 49	155 a 295	7	4
50 o más	300 o más	9	5

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El muestreo, la prueba de revenimiento, el curado y el ensaye, se realizaron de acuerdo a los requisitos estipulados en las siguientes especificaciones de la Norma Oficial Mexicana.

Nom – C – 155 Vigente "Concreto Premezclado"

Nom – C – 161 Vigente "Muestreo de Concreto Fresco"

Nom – C – 156 Vigente "Determinación del revenimiento del Concreto Fresco"

Nom – C – 159 Vigente "Elaboración y curado en el laboratorio de Especímenes de Concreto"

Nom – C – 160 Vigente "Elaboración y curado en obra de Especímenes de Concreto" .

### X.2.3 MUESTREO DE ELEMENTOS CURADOS A VAPOR

Para elementos curados a vapor la muestra estará constituida por 6 cilindros por cada 40.0 m<sup>3</sup> (o por cada día de colado), para cada clase de concreto. Los cilindros se ensayarán a la compresión de la siguiente forma:

- 2 cilindros se enviarán al laboratorio y se curarán en condiciones normales y se probarán a la edad de 28 días.
- 4 cilindros se curarán a vapor y se dejarán en la obra en condiciones iguales a los elementos de los cuales son representativos y se probarán a las siguientes edades:
  - 1) 2 se ensayarán a la edad a la cual los elementos de donde proceden se van a transportar, hincar, tensar, descimbrar, etc, que pueden ser 2, 3 o 4 días aproximadamente.
  - 2) En caso de que los 2 primeros cilindros curados a vapor no cumplan con la resistencia planeada para la edad de prueba, estos 2 últimos se ensayarán 1,2 o 3 días después siendo la edad prueba la convenida por la contratista y representante de la dependencia.

Cuando las resistencias de los concretos no hayan cumplido con los requisitos señalados en la NOM – C – 155 - vigente, el contratista puede recurrir a la extracción de núcleos de concreto endurecido, para lo cual deberá ponerse de acuerdo con un representante de la Dependencia y se sujetará a los siguientes requisitos:

- Se tomará una muestra constituida por 3 corazones de concreto por cada elemento de resistencia baja. La extracción, el curado y los factores de

corrección por esbeltez serán de acuerdo a lo establecido a la NOM-C-169-vigente "Obtención y prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido.

- A menos que llegue a otro acuerdo, los concretos que en las pruebas de corazones tengan un promedio de 85 % de la resistencia de proyecto, son aceptables en cuanto a la calidad del concreto (Reglamento de las construcciones de concreto reforzado ACI - 318 vigente).
- Las decisiones sobre que deba hacerse en casos de resistencias bajas de las pruebas de corazones como demoler, reforzar o deducir, quedará a juicio de la Dependencia y de los estructuristas que intervinieron en el diseño.

#### **X.2.6 PRUEBAS DE CILINDROS DE CONCRETO DEL PUENTE**

- 1) En relación al puente, las pruebas de resistencia a la compresión en concreto hidráulico respecto a la cimentación profunda, fueron las siguientes:
  - Pruebas de compresión en el cilindro de concreto por parte de la empresa encargada de la construcción de las pilas del proyecto.
  - Pruebas de resistencia a compresión del concreto hidráulico por parte del laboratorio de la D.G.O.P.
- 2) Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión del concreto hidráulico relativo a la obra civil del proyecto, correspondiente a las muestras que a continuación se enumeran:
  - Pruebas de resistencia a compresión del concreto hidráulico por parte de la D.G.O.P.
  - Pruebas de resistencia a compresión del concreto hidráulico del laboratorio externo.
- 3) A continuación se mencionan los elementos a los cuales se les realizaron pruebas ensayadas a la compresión, correspondientes a los elementos estructurales y prefabricados, por parte de la empresa encargada de la construcción de los mismos.
  - Columnas
  - Cabezales

- Traves T.A.
- Traves T.C.

### X.3 PRUEBAS DE ACERO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### X.3.1 PRUEBA DE TENSIÓN

En el ensayo de tensión es uno de los más utilizados para determinar la calidad de los metales, principalmente para los aceros del puente y sirve para conocer la carga máxima, esfuerzo máximo, carga crítica, límite de fluencia, y alargamiento en 20 cm, que son características muy importante para juzgar la calidad de los aceros del proyecto del puente vehicular.

En la actualidad en casi todos los laboratorios modernos se emplean maquinas hidráulicas para ensayos de tensión.

Aunque las máquinas hidráulicas suelen ser de diversos tipos y tamaños el principio de su fundamento es casi siempre el mismo. Constan de cinco partes principales:

1. El conjunto principal de la maquina donde van colocadas las mordazas que sujetan las probetas.
2. Una bomba de aceite movida por un motor eléctrico que envía el aceite a presión al cuerpo de la máquina. Allí el aceite acciona un pistón que arrastra las mordazas.
3. Un dinamómetro que sirve para regular la presión e indirectamente la carga en kilogramos que actúa sobre la probeta. La elevación de un peso situado en un brazo de palanca, se consigue al aumentar la presión de aceite en el circuito hidráulico. Modificando la situación del peso a lo largo del brazo y a veces el valor del peso. Se consigue variar las cargas máximas que se alcanzan con la maquina.
4. Un manómetro que marca en un cuadrante las cargas que actúan sobre las probetas.
5. Un aparato para registrar las resistencias y alargamiento que dibuja en un gráfico la curva correspondiente a cada ensayo.

#### X.3.2 FORMA DE HACER EL ENSAYO

Después de preparar la probeta dejándola por mecanizado o rectificado con las medidas exactas, se divide longitudinalmente en partes iguales (marcando de diez en diez mm), utilizándose luego esas divisiones para medir el alargamiento.

Después de sujetar la probeta entre las mordazas de la máquina, se cuida que las cabezas queden bien sujetas y se comienza el ensayo.

A medida que aumenta la carga, la probeta se va estirando cada vez más, debiendo observarse mientras tanto la marcha de la aguja en el cuadrante indicador, haciéndose diversas anotaciones, que pueden ser de interés, como por ejemplo la medición y anotación de las cargas correspondientes a diferentes alargamientos, también la carga correspondiente al límite de elasticidad.

También se puede comprobar al cabo de algunos segundos, cuando avanza el ensayo, que aproximadamente hacia el centro de la probeta comienza a producirse una estricción y por fin llega un momento en que la probeta se rompe, terminándose entonces el ensayo.

Casi todas las máquinas actuales de ensayo, además de la aguja local y la de arrastrada por la aguja que señala las cargas instantáneas y marcan la carga máxima que ha actuado y que es la que ha ocasionado la rotura. Además cuentan con dispositivos especiales que señalan sobre un papel el gráfico de las cargas que han actuado y las deformaciones que ha sufrido la probeta.

### **X.3.3 PRUEBA DE DOBLADO**

Después de preparar la probeta dejándola con las medidas exactas, se sujeta entre las mordazas de la máquina, se cuida que las cabezas queden bien sujetas y se comienza el ensayo.

Otra prueba es la del doblado, este es simplemente doblar la probeta a 180 grados y tomando nota posteriormente de la lectura del diámetro del mandril

### **X.3.4 CORRUGACIONES**

Por último se toma lectura de lo siguiente datos separación, altura, y ancho costilla.

### **X.3.5 RADIOGRAFIAS DE SOLDADURA**

Este método de prueba se aprovecha la posibilidad que ofrecen las radiaciones de onda corta, como "rayos X" y "gama", de penetrar a través de objetos opacos a la luz ordinario. Estos rayos tienen la propiedad por su longitud de onda más corta que la luz. En general a menor longitud de onda corresponde mayor poder de penetración, no toda la radiación penetra a través de la soldadura; parte de ella es absorbida, si hay una cavidad, como por ejemplo un poro de escape de gases en el interior de la soldadura, el haz de radiación tendrá menos metal que traspasar que en una soldadura

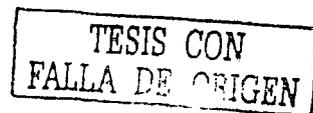
sana, consecuentemente, habrá una variación que si se mide o registra en una película sensible a la radiación, dará una imagen es una sombra de "rayos X" de manera que permita establecer su tamaño, forma y ubicación

El método utilizado para determinar la calidad de la elaboración de los bulbos para la unión de varillas del No. 12 fue de los "rayos X", ya que mas éxito y el mas confiable para la prueba no destructiva de soldaduras.

Debe tenerse presente que una radiografía tiende a dar una impresión mas exagerada de tipos dispersos de defectos, tales como porosidad o inclusiones y de no aplicar una tolerancia por este hecho, una soldadura que sea enteramente adecuada para su función puede declararse defectuosa.

"Calidad de soldadura" es una expresión cuyo significado depende del uso final que se dé a la soldadura, las soldaduras de calidad pueden clasificarse como buenas y muy buenas. Las buenas soldaduras son las que cumplen con los requisitos de aspecto y que a la vez se comportan de acuerdo con lo previsto hasta que son retiradas del servicio por decisión del usuario. Las soldaduras muy buenas son las efectuadas bajo intenso control de calidad para las cuales la única diferencia es el aumento del costo de producción.

#### X.4 PRUEBAS EN TERRACERIAS Y PAVIMENTOS.



##### X.4.1 CONTROL DE CALIDAD PARA LAS VIAS TERRESTRES.

Para la construcción de las vías terrestres se tiene necesidad de llevar a cabo los diferentes controles, a fin de que se obtengan las obras de calidad necesarias en el tiempo programado y con los costos presupuestados. Sin embargo, los ingenieros se aplican en general al controlar el programa y los costos en muchas de las ocasiones se deja un lado el control de calidad; se tiene idea de que este control debe estar a cargo de los laboratorios; sin embargo, estos son solo auxiliares para el control de los materiales y de los procedimientos de construcción y los ingenieros de obra deben revisar y atender sus recomendaciones y en aquellos casos en que recomendaciones y en aquellos casos que se halla discrepancia se debe aclarar los puntos de vista en beneficio a las obras; pero además dentro del control de calidad se incluyen otras actividades como la verificación de la geometría tanto horizontal como vertical la ubicación y la construcción de las obras de drenaje, etc. se debe insistir en que al contratarse una obra, se convienen los precios de sus diferentes elementos que su cálculo se baso en la calidad requerida por las especificaciones y el proyecto, por lo que al supervisar una obra en forma efectiva, se debe exigir el cumplimiento de las condiciones aceptadas en el contrato.

El control de calidad de caminos, aeropuertos y ferrocarriles, interviene en todas las etapas de la obra, es decir, desde su proyecto y construcción hasta la operación y mantenimiento. En la etapa de proyecto deben hacer estudios necesarios para saber con que materiales se cuenta e indicar los tratamientos a los que deben estar sujetos

para poder utilizarse en diferentes partes de la estructura. Cuando la obra esta en construcción marcados en los proyectos: se deberá revisar la geometría horizontal, transversal y vertical, así como los espesores y posición de las capas. Cuando se presentan desviaciones se deberá de informar de inmediato al ingeniero de obra para que se corrija.

Con la conservación de las obras, el control de calidad interviene verificando el comportamiento que se valla teniendo y recomendando las acciones que se deben de desarrollar para que se tenga un funcionamiento adecuado, así como verificar la calidad de los materiales que se usen.

En la intervención del control de calidad se van teniendo diversas experiencias que deberán ser registradas e informadas en forma adecuada a las comisiones de especificaciones para que estas sean modificadas en ocasiones para hacerlas más rígidas y en otras para hacerlas más flexibles. Lo anterior es lo que se denomina retroalimentación.

Por lo expuesto, es necesario contar con una planeación adecuada de control de calidad par lo que se debe definir el nivel de calidad que se requiere por obra o conjunto de obras, lo que se hace en base a los siguientes factores:

1. ¿Qué se desea?
2. ¿Qué se requiere?
3. ¿Como pueden ordenarse y programarse las actividades que conduzcan a la meta?
4. ¿Como determinar que se ha alcanzado la meta?

En rigor se necesita un sistema de acción susceptible a ser retroalimentado de manera que los requerimientos estén continuamente interaccionados con los logros parciales y finales de la obra.

Los dos primeros factores mencionados tienen que ver con la esencia del proyecto y la contratación, al formular la filosofía del proyecto, el ingeniero debe de entender que la construcción no debe clasificarse simplemente como buena o mala, aceptable o inaceptable; habrá una gama de condiciones a partir de las óptimas y deberán considerarse posibilidades de variación dentro del propio diseño, con relación a calidad de materiales y a técnicas constructivas, así como tolerancias en casi todas las actividades, las cuales deben estar indicadas con claridad en los documentos de contratación. Sólo dentro de este sistema flexible, podrá definirse de un modo realista las aspiraciones y requerimientos del ingeniero. El tercer factor exige un sistema de inspección, muestreo de materiales y pruebas, que permitan analizar las condiciones de la construcción, así como las tendencias y oscilaciones de los trabajos. Este sistema,

debe estar dirigido a los aspectos fundamentales de la obra y no a los accesorios; además, la interpretación debe ser clara y poco controversial.

#### X.4.2 ESPECIFICACIONES.

En el seguimiento al control de calidad, es muy importante tener presente las especificaciones que se manejen, pues definen con claridad los procedimientos de construcción. La forma de medición de los volúmenes de obra, las bases de pago y la forma de verificar si se ha alcanzado lo que se desea (procedimientos de pruebas y normas de calidad) son el resultado de este control.

Un cuadro completo de especificaciones técnicas, es indispensable para manejar de un modo claro y razonable todos los aspectos legales de la construcción, la contratación, etc. pero también es un hecho cierto que la aplicación rígida sin un criterio amplio de las especificaciones conduce a una estrechez mental al aqulosamiento de las técnicas empleadas y la negación de la ingeniería. Claro está que la aplicación de las especificaciones debe estar a cargo de personas con suficientes estudios técnicos prácticos, pues de otra manera se puede dar una interpretación contraria a la meta que se persigue.

Las especificaciones o normas de construcción de los materiales son el producto de investigaciones, experiencias y estudios minuciosos de correlación, que toman en cuenta todos los datos recabados durante la construcción y la operación de las obras, tomando en cuenta condiciones tales como el clima, la geología, el tránsito, etc. que las afectan. Para fijar las especificaciones se requiere personal profesional, se recomienda capacidad técnica (teórica y práctica), y puede ser auxiliado por instituciones especializadas, como lo son en general los centros de estudios superiores. Se pueden distinguir tres tipos de especificaciones:

- Normas o especificaciones institucionales que se refieren a la construcción de un tipo general de obra. Estas Normas se aplican, por ejemplo, en todos los tipos de caminos que se construyen en un país.
- Especificaciones particulares. Se refiere a la construcción especial de un tipo de obra de las contempladas en las normas, tratándose de caminos, se pueden tener especificaciones particulares para tipo de usuarios en autopistas, o para caminos vecinales, o para caminos de bajo costo, etc.
- Especificaciones complementarias. Son las que se indican en el proyecto de una obra particular, por ejemplo, las que se deben aplicar en la contratación de un camino que va a unir a la población "A" con la población "B".

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la aplicación de estas especificaciones, tiene jerarquía en 1er. lugar las complementarias, después las particulares y por último, normas cuando se tengan conceptos en las que se contrapongan.

La transcripción ciega de normas técnicas, producidas por instituciones de otros países, por avanzadas que parezcan suelen conducir a políticas inadecuadas.

Las especificaciones deben ser realistas, ajustadas a lo que debe y puede lograrse dadas las características del país en donde se construirán las obras. Es común que las naciones en donde se ejecutan, tengan diferentes problemas de tipo económico, tecnológico o de clima, que las adopten; como consecuencia, las vías terrestres de las primeras pueden mover volúmenes de tránsito que son excepcionales o desconocidos en estas últimas y se pueden utilizar erróneamente; sin embargo pueden servir de base para formular especificaciones realistas en cada caso.

### **PRUEBAS PARA MATERIALES**

Para conocer la calidad de los materiales verificar la calidad de la obra y estructurar la sección transversal de una vía terrestre, es necesario la utilización de laboratorios de materiales, en donde se ejecutan las pruebas efectuadas al caso.

Una prueba es el conjunto de medidas sistematizadas, efectuadas a un espécimen elaborado ex profeso.

En un programa de control de calidad, debe definir el conjunto de pruebas que es necesario realizar para clasificar los materiales, verificar la calidad de la obra y proyectar la estructura, las cuales proporcionan la base metodológica y técnica del programa.

Las pruebas deben cumplir algunos requisitos como son:

- Estar dirigidas a características esenciales.
- Estar basadas en amplios estudios locales.
- Ser rigurosamente estandarizada.
- Ser rápidas y sencillas en su realización.
- Ser de fácil interpretación.
- Ser confiables.
- Que requieran de equipos económicos de fácil reparación y calibración.

La elección de las pruebas deben basarse en el estudio detallado de las que se realizan en otros lados para el fin que se persigue tomando en cuenta diferentes aspectos, como la confianza que se puede tener en ellas por su reproducibilidad, el grado de dificultad en su ejecución y posibilidades de error la precisión requerida en los resultados la disponibilidad de equipo, etc.

Un ejemplo de lo anterior se tiene al elegir el Cuerpo de Ingenieros o del Padrón, para obtener los parámetros de resistencia que permitan calcular los espesores de pavimento.

Con el método de Cuerpo de Ingenieros deben elaborar para cada sondeo entre doce o quince especímenes que se compactan dinámicamente y se saturan cuando menos tres días para conocer el V.R.S. correspondiente.

En el método del Padrón, en rigor solo se requiera de un espécimen por sondeo, en que se obtengan las características de peso volumétrico seco y humedad que crea conveniente el proyectista; la compactación es estática como no hay necesidad de saturación, el V.R.S. se obtiene de inmediato.

**CAPITULO XI                    CONCLUSIONES**

En cualquier tipo de obra por pequeña que sea, es de suma importancia respetar las normas que marcan los reglamentos de construcción ya que si algo no se cumple en el momento de alguna fuerza extraordinaria, la estructura puede llegar a la falla.

El reglamento de construcción clasifica a las estructuras de acuerdo a la importancia de éstas, que depende de la cantidad de personas que concurran a esos lugares y de las pérdidas económicas que originaría la falla de la estructura.

De acuerdo a lo anterior, todas las obras de gran magnitud se construyen con supervisores que se encargan de que la estructura cumpla con las normas del reglamento de construcción y con las especificaciones de materiales, mano de obra y procedimiento de construcción para dar la capacidad máxima de los materiales.

Adicionalmente, el supervisor de una obra regula los gastos ocasionados por la construcción y resuelve todos los problemas que se presentan en la obra. Por lo que es de suma importancia tener por lo menos un supervisor en obras de servicio público.

Cuando se tratan de obras de gran magnitud, es responsabilidad del supervisor llevar un control del avance semanal con el fin de apresurar los trabajos de la contratista y poder salir con el programa de la obra, al igual que el atraso sirve como una forma de presión hacia las constructoras de no poder cobrar con tiempo las estimaciones. Adicional al control de avance de obra, el supervisor debe llevar un control de lo que cobran las contratistas en cada estimación y comparar los montos acumulados de obra con los totales, para verificar que no se paguen volúmenes de más.

Es de suma importancia para el constructor como para el supervisor, llevar el control diario de la bitácora de obra, ya que en este libro se apuntan todas las peticiones, exigencias, cambios de proyecto y órdenes de trabajo. Y con esto tanto la contratista como el supervisor pueden respaldarse cuando sucedan problemas, accidentes o pago de trabajos extras. Como ayuda a la bitácora de obra, en campo se hacen minutas en donde se apuntan inicio de trabajos de otras dependencias, peticiones de aumento de fuerza de trabajo y localización de instalaciones para no afectarlas.



Obra terminada y funcionando

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## XII. BIBLIOGRAFÍA.

- INTRODUCCIÓN AL CONCRETO PRESFORZADO  
ALLEN,  
IMCYC  
MÉXICO 1979
  
- CONSTRUCCIÓN DE PUENTES EN MÉXICO  
S.C.T.  
EDICIÓN 1985
  
- PUENTES DE MÉXICO  
ARTE E HISTORIA  
GRUPO TOLTECA
  
- MANUAL DE INGENIERÍA CIVIL  
FEDERICK S. MERRIT  
3º EDICIÓN  
TOMO III  
MC GRAW HILL
  
- REVISTA "OBRAS"  
PUBLICACIÓN MENSUAL
  
- INFORMES MENSUALES DE OBRA  
D.G.O.P.