



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE VEHICULAR
EN AV. PLAN DE MUYUGUARDA Y ANILLO PERIFÉRICO,
AL SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN LAS
DELEGACIONES XOCHIMILCO Y TLALPAN”**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A
ALEJANDRO PÉREZ MENDOZA**



DIRECTOR DE TESIS: ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO

CIUDAD UNIVERSITARIA

FEBRERO 2005

m. 340617



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Envío a la Dirección General de Inspección de la
Fiscalía en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: ALEJANDRO PÉREZ MENDOZA

FECHA: 01 - FEBRERO - 2005

FIRMA: 



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTTT/047/04

Señor
ALEJANDRO PÉREZ MENDOZA
Presente

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

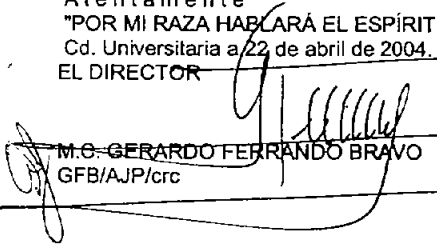
"PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE VEHICULAR EN AV. PLAN DE MUYUGUARDA Y ANILLO PERIFÉRICO, AL SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN LAS DELEGACIONES XOCHIMILCO Y TLALPAN".

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO
- III. CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN
- IV. OBRAS INDUCIDAS
- V. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA Y ESTRUCTURA
- VI. OBRAS EXTERIORES Y COMPLEMENTARIAS
- VII. 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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 22 de abril de 2004.
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/AJP/crc

AGRADECIEMIENTOS

Agradezco a Dios, por todas las cosas buenas que me ha dado hasta el día de hoy; y por haberme dejado llegar a este día para cumplir con esta meta personal.

A las dos personas más importantes en mi vida y que son mi Mamá y Hermano, a quienes con profundo cariño les dedico esta tesis por que siempre me han apoyado incondicionalmente para cumplir todas mis metas y me han enseñado a seguir adelante aún en momentos difíciles impulsándome para cumplir con esta etapa de mi vida .

A mis Abuelos ya que con su ejemplo y consejos me ayudaron a ser lo que ahora soy; y a quienes dedico en su memoria esta tesis.

A mis familiares y amigos, quienes a lo largo de mi vida me han ayudado moralmente.

A la Universidad Nacional Autónoma de México en especial a mi querida Facultad de Ingeniería a quien espero honrar por siempre.

A mis maestros, quienes contribuyeron con sus conocimientos a mi aprendizaje, en especial al Ing. Carlos Manuel Chávarri M. quien ha sido un gran ejemplo para mi; y a mis sinodales de esta tesis a quienes agradezco haber participado en mi educación.

“PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE VEHICULAR EN AV. PLAN DE MUYUGUARDA Y ANILLO PERIFÉRICO, AL SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN LAS DELEGACIONES XOCHIMILCO Y TLALPAN”

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	3
II. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	8
II . 1 . LOCALIZACIÓN	8
II . 2 . EFECTOS AMBIENTALES	10
II . 3 . GEOMETRÍA	14
II . 4 . TIPO DE CIMENTACIÓN	17
II . 5 . TIPO DE ESTRUCTURA	36
III. CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN	45
III . 1 . FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE PILOTES	46
III . 2 . EXCAVACIONES	50
IV. OBRAS INDUCIDAS	54

V .	<i>PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA Y ESTRUCTURA</i>	61
VI .	<i>OBRAS EXTERIORES Y COMPLEMENTARIAS</i>	74
VI . 1 .	<i>PAVIMENTOS</i>	74
VI . 2 .	<i>CONSTRUCCIÓN DEL PARAPETO</i>	84
VI . 3 .	<i>ALUMBRADO PÚBLICO</i>	86
VI . 2 .	<i>SEÑALAMIENTOS DEFINITIVOS</i>	87
VII .	<i>CONCLUSIONES</i>	89
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	92

INTRODUCCIÓN

La Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Dirección de Obras Públicas (DGOP), coordinó el diseño y construcción de un puente vehicular proyectado en el cruce de Av. Plan de Muyuguarda y Anillo Periférico, al sur de la Ciudad de México en las Delegaciones Xochimilco y Tlalpan, obra No. 03440001.

Esto debido a la problemática generada a través de las concentraciones del parque vehicular, que ha rebasado los lineamientos dictados con anterioridad a través de la práctica elemental, de esta manera surgió la necesidad de obtener un mayor rendimiento de la red vial existente, ocasionando ampliaciones e integración a través de obras estructurales de tipo puntual (elevada, deprimida, y/o mixta).

Sin embargo, la construcción de nuevas vías, así como la ampliación de la red de transporte colectivo, no siempre constituye la alternativa de solución para disminuir la problemática de congestionamiento, es decir, aun cuando coadyuvan a la movilidad vehicular y de viaje persona/día. Estas requieren de un apoyo a través de acciones como lo es una infraestructura puntual, orientada a la movilidad del parque vehicular, logrando una integración mas directa no solo a nivel local o zonal, esta continuidad de la red vial amplía la comunicación logrando la intercomunicación a nivel regional, obteniendo una eficiencia acorde a las necesidades de la ciudad o área metropolitana.

A medida que los problemas de movilidad y desplazamiento de vehículos y personas se fueron tratando con nuevas líneas y ampliaciones a la red existente de transporte masivo, ha ido enriqueciéndose la trama vial, dando como resultado una mayor cobertura del esquema vial primario a nivel zonal, sin embargo en algunos puntos principalmente a nivel regional se requieren de ampliaciones o enlaces. Tal es el caso del puente vehicular Muyuguarda, en su primera etapa, que se encuentra ubicado en la lateral del Anillo Periférico, y que ligara la calle Muyuguarda con la lateral sur del Anillo Periférico en su primera etapa, y así avanzar hacia una integración de la red primaria, tanto transversal como longitudinal, acorde al plan rector de vialidad, utilizando el proyecto que considera este estudio, lo cual permite que con esta nueva obra puntual se de un paso mas en la integración de la red vial primaria de la Ciudad de México.

El pronóstico de la actividad económica y del uso de suelo de la zona es de vital importancia debido a que la generación futura de los viajes que utilizarán el sistema vial que se proponga está íntimamente relacionada con las características de dichos elementos.

Para conocer el comportamiento de los volúmenes de tránsito y las condiciones de operación que tendrá la intersección una vez realizado el puente vehicular en un horizonte de 15 a 20 años, se consideró una tasa de crecimiento de tipo exponencial del 5 % anual, de acuerdo a las estimaciones de la Secretaría de Transportes y Vialidad.

El diseño y reordenamiento de la red vial son dinámicos por necesidad, debiendo ser revisado periódicamente y modificado según lo requieran los cambios que se presenten, considerando la evolución que vaya teniendo el uso del suelo, así como las innovaciones tecnológicas que pudieran surgir en el transporte.

Dentro del proceso de reordenamiento, el conocimiento de la demanda es uno de los puntos más importantes que se deberá obtener y manejar. La información de tránsito en las intersecciones y su relación con la oferta de las mismas, permiten conocer las características y necesidades de movilidad en el área de estudio, así como los niveles de servicio de dichas intersecciones.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

El transporte y la red vial en la Ciudad de México, así como del Área Metropolitana, han tenido un crecimiento constante que no se ha logrado conjugar ordenadamente, por lo que ha sido necesaria la incorporación de elementos de control, canalización del tránsito y la construcción de puentes vehiculares en las vialidades primarias, para operar con máxima eficiencia y seguridad, reduciendo tiempos de recorrido y emisiones de contaminación.

A fin de conocer todos aquellos aspectos que influyen en la operación de la intersección en estudio, se realizaron una serie de inventarios y estudios de campo, para poder contar con todos los elementos que intervienen en el funcionamiento de la intersección, para ser considerados en la elaboración de la alternativa de solución.

El inventario del sentido de circulación es el siguiente: En la zona de estudio se identificaron los sentidos de circulación de Avenida Muyuguarda, Avenida Cafetales, Calzada de los Tenorios y Anillo Periférico, así como de todas las calles que tienen acceso a estas vialidades.

La Avenida Muyuguarda actualmente cuenta con ambos sentidos de circulación, norte sur y sur norte, asimismo, la Avenida Cafetales también tiene ambos sentidos de circulación norte sur y viceversa, separados por una franja física; la Calzada de los Tenorios cuenta con ambos sentidos de circulación de nor poniente a sur oriente y viceversa y el Anillo Periférico cuenta con sentidos de circulación de Oriente a Poniente y de Poniente a Oriente.

A fin de conocer los flujos vehiculares que circulan por la zona de influencia, se realizaron aforos vehiculares de manera manual para recopilar los datos en lugares específicos como lo son la Av. Prolongación División de Norte y el Anillo Periférico Sur; llevándose a cabo una diferenciación por tipo de movimiento y de vehículo, estimando que con la nueva obra aliviaría en un 30 % la carga vehicular que se presenta actualmente en la Glorieta de Vaqueritos.

❖ *Aforos Peatonales.*

La afluencia peatonal observada es muy elevada, y de gran importancia por el uso de suelo existente, que se compone principalmente de zona habitacional y como consecuencia, existe un volumen elevado de peatones, que utiliza el puente peatonal existente, para cruzar el río entubado San Buenaventura, para abordar el transporte colectivo sobre las laterales de Anillo Periférico y desplazarse a sus diferentes centros de operación. En la actualidad, este cruce es muy inseguro para los usuarios, por las condiciones propias en las que se encuentra el lugar.

Con la realización de esta obra de infraestructura vial se mejorará la imagen urbana del lugar, así como también se dará una mayor seguridad a los peatones.

❖ *Datos operacionales de los dispositivos del control de tránsito.*

Una red vial no puede considerarse completa, aún cuando los segmentos que la integran hayan sido adecuadamente proyectados, los conductores sean competentes y los vehículos que circulan por él estén bien diseñados. Los vehículos en el camino deben ser regulados para minimizar los conflictos con otros vehículos.

Para lograr esto, existen dispositivos especialmente diseñados para prevenir y proteger al usuario de peligros potenciales y para un flujo de tránsito más eficiente.

Los dispositivos para el control de tránsito incluyen semáforos, marcas sobre el pavimento y señales de los siguientes tipos: preventivas, restrictivas e informativas.

Además de los semáforos, existen otros dispositivos luminosos que integran el inventario de señalamientos verticales y horizontales cuyo funcionamiento depende de las variaciones del tránsito. Entre estos están las señales para prohibir o autorizar la circulación en determinados carriles de una vía, para desviar el tránsito por rutas alternas, para permitir la incorporación de los vehículos a los carriles de alta velocidad de una vía, en condiciones de seguridad.

A fin de conocer los dispositivos para el control del tránsito y las condiciones de operación actual que prevalece en el lugar se realizó un levantamiento de señalamientos horizontales y verticales de la zona en estudio.

En cuanto a las condiciones físicas sobre el Anillo Periférico, de señalamiento horizontal existente, el estado actual se encuentra en buenas condiciones. Si se observan las marcas en el pavimento de guiones, líneas de alto, paso peatonales y líneas de aproximación, y se pueden constatar que se encuentran en buen estado.

En el inventario de señalamiento vertical se identificaron cada una de las señales preventivas, restrictivas e informativas, indicando la forma como están colocadas, sus leyendas y destinos.

En cuanto al transporte público, y en base a la revisión realizada en la zona de estudio, se detectó que no se tiene transporte público que circule sobre la calle Muyuguarda. Sobre el Anillo Periférico se identificaron distintos modos de transporte público, los cuales realizan sus paradas de ascenso y descenso de pasaje en los parabuses existentes.

En la siguiente fotografía se muestra parte del señalamiento vertical existente en el área cercana al proyecto, y en el cual podemos ver además las buenas condiciones que presentan estos señalamientos, así como también las condiciones en las cuales se encuentra actualmente el pavimento de la lateral de periférico en dirección poniente oriente.

Cabe mencionar que las condiciones del pavimento aunque no son excelentes, sí se pueden considerar como aceptables ya que todavía se encuentra este pavimento dentro de su vida útil, sin embargo estas condiciones no prevalecen en todo el tramo de pavimento cercano al proyecto ya que se presentan en algunos lugares pequeños baches que habrá que reparar en la mayor brevedad posible para que el proyecto cuente con las condiciones de calidad que exige una obra de este tipo.



Fotografía 1. Señalamiento vertical de la zona.

Es importante tomar en cuenta el crecimiento de la población y la imperante necesidad de traslado a sus principales centros de actividad, provocando que las vialidades se vean saturadas en las horas pico, en que la entrada y salida repercuten directamente en un incremento en el tiempo de recorrido, así como en los índices de contaminación por las aglomeraciones viales que se dan, las que aumentan considerablemente en esos periodos del día.

Esta situación se hace más palpable en las vialidades primarias como es el caso del Anillo Periférico que por ser una vialidad anular, cobra especial importancia, debido a que miles de usuarios la utilizan al mismo tiempo aumentando considerablemente el tráfico vehicular, creando una disminución de la capacidad de las vías, o funcionamiento inadecuado de los cruces para el tipo de tránsito que circula por ese lugar, generando conflictos y como consecuencia, grandes colas de vehículos en espera.

Cabe mencionar que el diagnóstico no se limita exclusivamente a la descripción física y operativa de las intersecciones en estudio, sino que pretende afinar y presentar la problemática actual apropiada para evaluar las posibles alternativas de solución, por lo que en esta etapa se generan soluciones que permitan realizar pronósticos que serán evaluados posteriormente.

Debido a las condiciones que prevalecen en la zona, el horario de trabajo en la etapa de construcción será diurno y nocturno cuando se requiera, en jornadas de 8 horas por trabajador.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

II. 1. LOCALIZACIÓN

El proyecto tiene por nombre: Puente vehicular en Av. Plan de Muyuguarda y Anillo Periférico Sur, y se encuentra ubicado en la intersección de la lateral del Anillo Periférico Sur y la Av. Muyuguarda, entre los límites de las Delegaciones Políticas de Xochimilco y Tlalpan. Y debido a que parte del predio donde se encuentra el proyecto se localiza en vialidad primaria, es propiedad del Gobierno del Distrito Federal y otra porción es Propiedad Federal.

La calle Cafetales y Muyuguarda se encuentran ubicadas en el sentido norte sur respecto de la zona de obra, quedando Cafetales del lado norte desembocando en el Anillo Periférico con ambos sentidos de circulación y la calle Muyuguarda se localiza del lado sur de la zona de obra con un uso de suelo habitacional del lado poniente y del lado oriente un área de preservación ecológica (Vaso regulador la Ciénega Chica).

El Anillo Periférico se localiza de manera diagonal en sentido nor oriente sur poniente de la intersección con ambas direcciones en sus carriles centrales y laterales, para el estudio en su primera etapa nos interesa la lateral sur del Periférico sobre la cual no existen viviendas, y servicios.

Las avenidas que forman la intersección son del tipo de vialidad primaria y secundaria de la Ciudad de México, el anillo Periférico es una vía de tipo anular que mueve grandes flujos vehiculares.

Es importante mencionar que en el punto de localización del proyecto se cuentan con los siguientes servicios que integran el mobiliario urbano de la zona. En vía pública con su respectivo equipo y con una localización lógica para que cumpla con una óptima funcionalidad. Se consideran como tal los servicios de correo, de teléfono, de transportes, de alumbrado, de señalamientos, de semáforos, de pintura en el pavimento, de plantas de ornato y forestación, de depósito y recolección de basura y desechos, de protección para peatones, de cubiertas para paradas de autobuses, de locales para renta o venta de artículos para el esparcimiento, alimentos, periódicos y revistas.

De la zona de estudio el Anillo Periférico cuenta con iluminación por ambas aceras, señalamiento horizontal y vertical; asimismo, está dotada de casetas telefónicas y parabús; sin embargo, como ya se indicó anteriormente a la calle Muyuguarda le falta equipamiento urbano por lo que se tendrá que implementar conforme se indica en el proyecto y cabe mencionar de manera particular que sobre la Av. Cafetales, se localizan principalmente casas habitación y en la planta baja comercios.

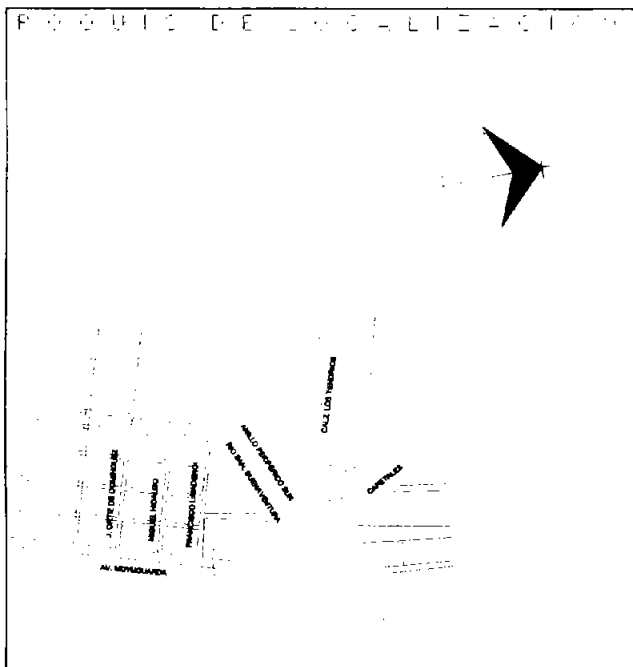


Fig. 1. Croquis de localización del proyecto

II. 2. EFECTOS AMBIENTALES

Los impactos al ambiente se asocian principalmente con las actividades de la construcción de las gasas que involucra el proyecto. Entre ellas se encuentra la remoción y reubicación de un número de árboles y la presencia y movimiento de equipo, maquinaria y vehículos asociados con las actividades de construcción que producen emisiones a la atmósfera.

Las emisiones a la atmósfera generadas por la construcción del proyecto se refieren únicamente a las generadas por los vehículos y el equipo de combustión interna que se usará, así como a las partículas suspendidas que se generarán, producto del movimiento de tierras en la construcción del puente vehicular.

En la etapa de operación, el proyecto no generará emisiones a la atmósfera. Por el contrario, la operación del proyecto permitirá la reducción de emisiones debido a la optimización del tráfico vehicular de la zona y sus alrededores.

Con el fin de obtener una primera aproximación de la cantidad de emisiones que se ahorrarán por la construcción del puente vehicular se llevo a cabo un estudio de aforos, de uno de los accesos y salidas con mayor demanda de flujo vehicular de la demarcación Xochimilco; Que viene siendo la intersección Prolongación División del Norte y el Anillo Periférico Sur, para lo cual se realizó una estimación con base en las siguientes consideraciones:

- ❖ Se obtuvieron los datos de la composición de la flotilla vehicular del plano de aforos.

<i>Tipo de Vehículo</i>	<i>Fracción en la Flotilla</i>	<i>Vehículos/h</i>
Automóviles	0.854	8,637
Combis y Microbuses	0.076	764
Camión de Carga	0.040	409
Autobuses	0.030	304

Tabla 1. Composición de la flotilla vehicular

- ❖ Los factores de emisión para cada tipo vehicular se obtuvieron del inventario de emisiones de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de Distrito Federal (2000).
- ❖ Se realizó una estimación considerando los aforos realizados para el proyecto. El promedio de vehículos se estimó en 10,114 por hora.

- ❖ Se calculó una optimización de 180 metros en el flujo vehicular, con un aumento en la velocidad promedio de 25 Km./h a 50 Km./h.
- ❖ Se obtuvieron las emisiones por día por multiplicación simple de los factores de emisión por el trayecto recorrido y la composición de la flotilla vehicular.

La diferencia en las emisiones se presenta en la tabla siguiente, en ella se observa que el ahorro en emisiones es significativo.

Tipo de vehículo	HCT	CO	NOx	PM10	SO2
Automóviles	256.8	2,963	2.6	2.6	8
Microbuses	60	649.1	21.4	0.1	0.8
Camión de Carga	31.9	347.6	11	0.1	0.5
Autobuses	14	371.7	45.4	4.1	1.4
Total	362.7	4,331.4	80.4	6.9	10.7

Tabla 2. Reducción en las emisiones de contaminantes por la operación del puente vehicular. Emisiones en Kg./día

La reducción en emisiones de contaminantes debido a la construcción del puente vehicular se estima, bajo las suposiciones establecidas arriba, en 4,331.4 toneladas al día de monóxido de carbono, 362.7 kilogramos de hidrocarburos totales, 80.4 kilogramos de óxidos de nitrógeno, 6.9 Kg. de partículas suspendidas con diámetros menores a 10 micrómetros y 10.7 Kg. de dióxido de azufre.

Con respecto a la estimación del tipo de descarga de aguas residuales en las etapas de construcción y operación y mantenimiento, se prevé que no se generarán aguas residuales.

Para la estimación de generación de residuos sólidos y líquidos, se establece que no se generarán residuos sólidos y líquidos durante la construcción de la obra, a salvedad de los obtenidos de la remoción del pavimento anterior, remoción de banquetas y material del suelo. El cascajo obtenido será cargado en camiones que lo trasladarán al bordo de Xochiaca. El material terroso obtenido de la remoción será utilizado en la nivelación del proyecto.

Durante la etapa de construcción el ruido generado está asociado con la operación de los equipos. Se estima entre las 8:00 a las 18:00 horas de un nivel cercano a los 50 decibeles (A) en el perímetro de trabajo.

Las actividades de operación tendrán un impacto ambiental favorable debido a que con este cruce se da una alternativa mas de acceso y salida de la Delegación Xochimilco; disminuyendo con esto el alto flujo vehicular que se da actualmente en la intersección de la Av. Prolongación División del Norte y el Anillo Periférico, con esta obra se permitirá reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera producidas por el congestionamiento vehicular y la marcha lenta que se da sobre esta intersección.

Cabe mencionar que en el plano del proyecto geométrico se presenta el censo de árboles, indicando la especie y diámetro, que se verán afectados por la traza del puente vehicular. Este censo se realizó mediante la identificación de la especie y dadas sus características si es posible y recomendable su trasplante, o bien si es necesario su retiro.

Principales medidas de mitigación y compensación.

- ❖ Los árboles que se removerán, serán reubicados con un manejo adecuado.

En la siguiente fotografía se muestra el trasplante y reforestación de la zona con árboles propios de la región.



Fotografía 2. Reubicación de árboles.

- ❖ Los vehículos de la construcción que transporten material, serán cubiertos con lonas para evitar la dispersión de polvo, y se mantendrán en un adecuado mantenimiento para minimizar las emisiones a la atmósfera por los gases del escape.

En la siguiente fotografía se muestra parte de la maquinaria que se utilizó para mitigar un poco la emisión de contaminantes, así como también podemos observar que sí se cumplió que los camiones debían de ir tapados con lomas para evitar dispersión del material.



Fotografía 3. Transporte de material

- ❖ Se evitará que el material de construcción sea depositado en áreas verdes.
- ❖ El área verde afectada será restaurada al término de la obra. De manera particular cada individuo arbóreo que no sea transplantado será sustituido en la proporción cuatro por uno de la misma especie.

En la imagen siguiente se observa parte de la restauración en la zona de las áreas verdes con que cuenta el proyecto.



Fotografía 4. Restauración de las áreas verdes.

- ❖ Se implementará un programa de poda y fumigación de la zona arbolada en una longitud de 250 m. a cada lado de la intersección, sobre la calle Muyuguarda y Anillo Periférico.
- ❖ En caso de que se implemente la fase dos del plan de contingencia ambiental se suspenderá el tendido de carpeta asfáltica, bacheo y toda actividad que requiera la utilización de solventes.

II.3. GEOMETRÍA

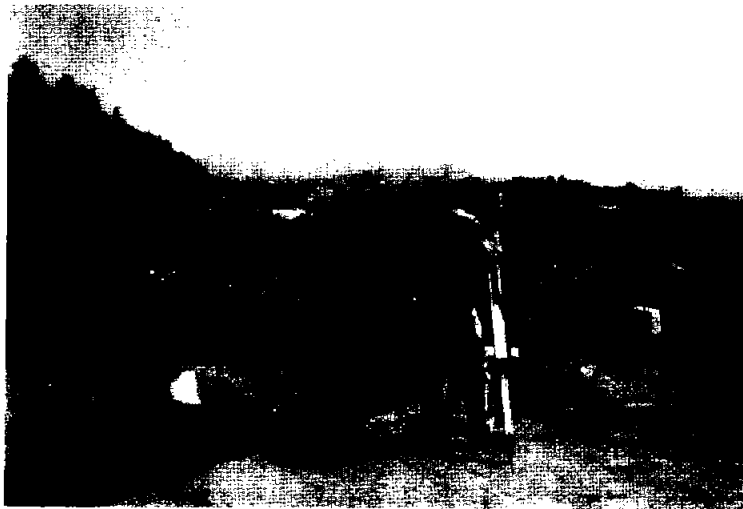
Considerando la situación actual y a un futuro inmediato, tanto geométrica como vehicular de la ampliación de la vialidad, se realizó una propuesta que permitiera resolver la problemática de fondo; esta propuesta se ha creado y pensado tomando en cuenta toda la información de campo. Es importante mencionar que para la realización de este proyecto se contempló una indemnización del área afectada de predios particulares, para lo cual se realizaron reuniones entre las autoridades y los propietarios de los predios. Para poder realizar posteriormente el trazo, nivelación, demolición y retiro de guarniciones y banquetas para la realización de la obra civil de este proyecto.

Esta alternativa deberá satisfacer mínimamente los movimientos direccionales a futuro y considerar todos los movimientos posibles, además:

- ❖ Separación entre vías primarias y secundarias.
- ❖ Especificaciones del proyecto.
- ❖ Niveles de servicio.
- ❖ Capacidad en términos de número de carriles.
- ❖ Tiempo de obra.
- ❖ Interferencias al tránsito por obra.
- ❖ Acceso a los principales usos del suelo de la intersección.
- ❖ Protección al peatón.

Para conocer con precisión la geometría existente de la zona en estudio, se realizó un levantamiento topográfico y reporte físico, en el cual se indica que el Anillo Periférico cuenta con mobiliario urbano adecuado; los señalamientos horizontal y vertical, no así en el caso de la calle Muyuguarda, que tendrá que implementarse con la infraestructura y mobiliario urbano necesario y acorde con la normatividad vigente para vialidad primaria.

A continuación se muestra parte de los trabajos de topografía, que fueron realizados al principio de la obra para la obtener nivelación del terreno.



Fotografía 5. Trabajos de topografía

Tomando en consideración la información de campo, los usos de suelo y las condiciones operativas de la zona, así como las necesidades que tiene la misma área, se desarrolló un proyecto que permite resolver de la mejor manera la problemática de ese lugar y como consecuencia ofrecer una alternativa mas de comunicación a la población que radica en esa zona.

El proyecto tiene una naturaleza de obra civil del tipo infraestructura vial, que consiste en la realización de dos gasas elevadas ubicadas al sur oriente y sur poniente de la intersección, que conectan a la lateral sur del Anillo Periférico con la Av. Muyuguarda, en dirección Prolongación División del Norte y Av. Muyuguarda con la lateral sur del Anillo Periférico hacia el oriente. La gasa sur oriente tendrá un longitud de 262.00 m. Y la gasa sur poniente tendrá una longitud de 275.00 m.; cada gasa contará con una sección de 7.00 m. Y dos carriles de circulación de 3.50 m. de ancho cada uno, que permitirán un flujo vehicular de 3600 vehículos por hora.

En su primera etapa, se construirá el puente que comunica la lateral sur del Anillo Periférico con la Calle Muyuguarda, así como la calle Muyuguarda hacia el Periférico en dirección al oriente, salvando el entubamiento del río San Buena Ventura. Para la etapa futura se considera prolongar el puente, para que se pueda cruzar la vialidad del Anillo Periférico conectándose con las avenidas Cafetales y Tenorios.

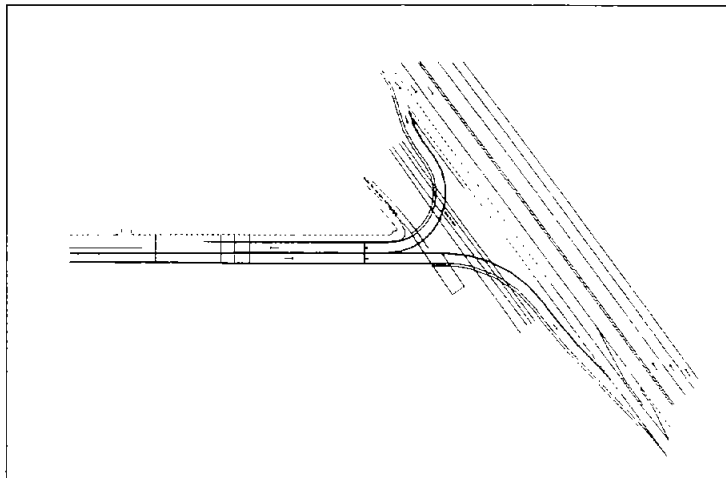


Figura 2. Geometría del proyecto

El objetivo principal de esta obra es dotar a la Delegación Xochimilco de una nueva alternativa de entrada y salida a esta demarcación política. Así como también continuar con el desarrollo del eje troncal metropolitano, mismo que contará con una longitud de 35 kilómetros, desde Xochimilco hasta Ciudad Azteca.

A continuación se presenta un cuadro resumen de la distribución de las áreas del proyecto.

Concepto	Cuantificación
Área total de predio (considerado en la Segunda etapa)	29,470 m ²
Área de desplante	2,967 m ²
Área por construir	5,275 m ²
Área de vialidades y de infraestructura urbana	5,275 m ²
Áreas verdes	560 m ²
Volumen de excavaciones	6,906 m ³
Área de donación	No aplica
Volumen de demolición	261 m ³
Área de construcciones existentes	No aplica

Tabla 3. Cuantificaciones

II. 4. TIPO DE CIMENTACIÓN

Como parte inicial de los trabajos se realizó una visita al sitio con objeto de hacer un reconocimiento y observar las características y estado que guarda actualmente el lugar, así como sus alrededores.

Durante la visita se observó que el proyecto tiene a sus alrededores un uso de suelo eminentemente habitacional, en las que las características de estas edificaciones son variadas, observándose estructuras de un solo nivel construidas con materiales deficientes a excepción de la Avenida Cafetales en donde se observa un uso de suelo mixto; ya que en la planta baja de la construcciones hay comercios y los siguientes niveles son casas habitación llegando estas construcciones hasta los cuatro niveles en algunos casos, adicionalmente entre las estructuras de la zona destaca la Glorieta elevada de Vaqueritos, por lo que se consideró un radio de acción de 500 metros de diámetro de la zona de la obra.

Se infiere que el tipo de cimentaciones en que descansan las construcciones ligeras de zona es de tipo superficial, constituido por zapatas de concreto y mampostería, y posiblemente losas de cimentación. Por otra parte, se sabe que los apoyos de la glorieta de Vaqueritos están cimentados con pilotes que descansan en un estrato firme y que tienen adicionados una punta de acero. Esta última estructura, construida en 1996 aproximadamente, no manifiesta emersión de sus apoyos por efecto del hundimiento regional.

Es importante mencionar que en la inspección visual externa de las construcciones de los alrededores, no se detectan daños atribuibles a un mal comportamiento del suelo.

La intersección cuenta con uso de suelo mixto en la calle de Cafetales, donde coexisten comercios y casas habitacionales; del lado oriente de la calle Muyuguarda colinda con un área de preservación ecológica (Vaso Regulador la Ciénega Chica) el área restante tiene un uso de suelo Habitacional.

II. 4. 1. *Exploración Geotécnica.*

Con objeto de observar las características de los rellenos superficiales y conocer la composición de los materiales del subsuelo a mayor profundidad, se realizaron cinco pozos a cielo abierto (PCA) y cuatro sondeos exploratorios (SE). Adicionalmente, se obtuvieron muestras cúbicas inalteradas de los PCA y muestras inalteradas a profundidad mediante cuatro sondeos de muestreo selectivo (SMS).

La profundidad máxima explorada a través de los PCA fue de 3 metros, en las paredes de cada uno se midió la resistencia al esfuerzo cortante con penetrómetro de bolsillo y se realizó una descripción detallada de la estratigrafía observada. Adicionalmente, se obtuvieron muestras inalteradas, muestras alteradas y muestras cúbicas inalteradas.

Con los sondeos exploratorios se investigaron los materiales del subsuelo hasta 50 metros de profundidad. Estos sondeos se ejecutaron utilizando en los suelos blandos el cono eléctrico (SCE), con una velocidad de hincado ubicada entre 1 y 2 cm./seg. para los suelos duros se empleó la técnica de penetración estándar, siguiendo la norma establecida en el ASTM (Designación D 1585-67). Con ello se determinó, de forma cualitativa, la resistencia del suelo a la penetración, mediante la carga aplicada en el cono y el número de golpes necesario para hincar el penetrómetro estándar. Adicionalmente en estos sondeos, se obtuvieron muestras alteradas del subsuelo del sitio, en tramos de 60 cm. Con la ayuda de las propiedades índice determinadas en las muestras alteradas recogidas, se determinaron las condiciones de estratigrafía del sitio, estableciendo con ello, un perfil estratigráfico preliminar con el que se ubicaron los estratos más vulnerables del depósito.

En la fotografía 6, se muestra parte del procedimiento de este tipo de sondeos (SE), en la cual podemos apreciar parte del equipo utilizado en ellos.



Fotografía 6. Exploración geotécnica de los sondeos exploratorios.

Por otra parte y con base en la información obtenida de cada SE, se estableció un programa de muestreo inalterado, el que se ejecutó mediante los SMS. Estos sondeos se ejecutaron junto a los SE. El muestreo inalterado a profundidad se realizó mediante el empleo de tubos de pared delgada, o tubos Shelby, hincados a presión en los estratos de interés.

Las muestras alteradas e inalteradas obtenidas de los trabajos de exploración fueron empacadas y enviadas al laboratorio para su estudio.

Como trabajos adicionales se ejecutaron 10 calas para verificación de las instalaciones municipales y de PEMEX, así como el desplante del entubamiento del río San Buenaventura.

II . 4 . 2 . *Ensayes de laboratorio.*

En todas las muestras obtenidas de los trabajos de exploración geotécnica se efectuaron los siguientes ensayos índices:

- Contenido de humedad natural
- Contenido de finos

Con estos resultados se identificó la naturaleza de los materiales, utilizando para ello el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Adicionalmente, en muestras seleccionadas se determinaron las siguientes propiedades.

- Densidad de sólidos
- Límites de consistencia
- Peso volumétrico natural

En las muestras inalteradas se realizaron, además de las pruebas

- Compresión simple
- Compresión triaxial
- Consolidación unidimensional

II . 4 . 3 . *Información Geotécnica de la zona*

Geotécnicamente, el predio de interés se localiza en la Zona III o de lago, de acuerdo con la zonificación geotécnica establecida en las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para el diseño y construcción de cimentaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF), vigente.

El subsuelo de la Zona de lago que se observa en el Valle de México, se caracteriza por presentar materiales predominantemente arcillosos de baja resistencia al corte y alta deformabilidad. En algunos sitios el espesor de estos materiales puede ser de dimensiones considerables. Para la zona de estudio y de acuerdo con el mapa de isoprofundidades a los depósitos profundos que aparece en las NTC para el diseño por sismo, se tiene que esta profundidad se ubica a más de 40 m.

Por otra parte, se observa en el mapa de isoperíodos que aparece en las mismas NTC que el período de vibración dominante del suelo es de 1.9 seg. aproximadamente.

II . 4 . 4 . *Hundimiento regional.*

Con objeto de establecer la velocidad de hundimiento regional que se presenta en la zona, se recopiló la mayor información posible relacionada con este efecto.

A partir de las nivelaciones que la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) realiza periódicamente en los bancos de nivel a su cargo que se encuentran distribuidos en todo el Distrito Federal, se localizaron los más

cercanos al sitio de interés. Para ello se definieron las coordenadas del sitio en Unidades Técnicas de Mercator (UTM) utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Las coordenadas que limitan a las estructuras principales en el sitio, corresponden con las (487,815 2,132,706) Y (487,999 2,133,019).

De acuerdo con la información proporcionada, los bancos ubicados cerca del predio han sido medidos, por periodos de dos años generalmente, desde 1985 y hasta 1998. Se destaca que de los bancos de interés no se tienen registros continuos durante todo este intervalo de tiempo. Sin embargo, puede diferir la tendencia que manifiesta la zona con los datos existentes, acusando menores valores de velocidad con el tiempo.

En la tabla siguiente se presentan los valores de hundimiento registrados para el periodo 1985-1998 en los bancos analizados.

Periodo 1985 - 1998					
Banco		Coordenadas UTM		Hundimiento (m)	Velocidad de hund (cm./año)
		X	Y		
1	P(S 11 E02)03	488306	2133029	1.594	12.3
2	M(S12E01)01	486821	2132829	0.588	4.5
3	P(S 12E02)01	487672	2132645	1.328	10.2
4	P(S12E03)01	488542	2132859	1.597	12.3
5	M(S11E01)03	486851	2133501	0.413	3.2

Tabla 4. Hundimientos de 1985 - 1998

De igual forma, a partir de la última nivelación disponible efectuada en 1998 y su comparación con respecto a la anterior, se tiene que los bancos en servicio más próximos al sitio manifiestan los siguientes valores de hundimiento:

Último periodo					
Banco		Coordenadas UTM		Velocidad de hund (cm./año)	
		X	y		
1	P(S 11 E02)03	488306	2133029	7.7	
2	M(S12E01)01	486821	2132829	2.9	
3	P(S 12E02)	487672	2132645	5.5	
4	P(S12E03)	488542	2132859	7.9	
5	M(S11E01)03	486851	2133501	3.3	

Tabla 5. Hundimientos del último periodo

Como se observa, en función del hundimiento medido en los bancos y el periodo de lectura, se han estimado velocidades de hundimiento medias anuales. De ellas y tomando en cuenta su posición, se obtuvo que el hundimiento que predomina en la zona donde se localiza este desarrollo se ubica entre 4.5 y 7 cm./año.

Adicionalmente, se ha observado que para los suelos de la zona de Lago del valle de México, la velocidad de hundimiento puede correlacionarse con el periodo dominante de vibración del suelo. Ello debido a que ambas características del suelo

son función principalmente de su espesor y consistencia. La expresión que relaciona ambas propiedades se expresa como:

$$VA = 2 Ts 1.9$$

Aplicando esta relación a partir del periodo de vibración del suelo, el hundimiento para el sitio de interés es del orden de 6.8 cm./año.

Se destaca que del hundimiento regional observado en los suelos del valle de México, la Serie Arcillosa Inferior contribuye con el 30 al 60% del hundimiento total del depósito. Particularmente, en el sitio los primeros 15 m se consideran ajenos al efecto del hundimiento regional, pues la resistencia medida con los SCE en los SE se mantiene prácticamente constante; ello se justifica por la presencia de la laguna Ciénega Chica próxima, que mantiene inalterable la posición del nivel freático, evitando la consolidación regional superficial.

Dadas las condiciones del terreno en la zona, la cimentación necesaria para este proyecto consiste en el hincado de pilotes de fricción para poder apoyarse en el estrato duro de la zona, y excavación para zapatas, mismas que servirán para el desplante de los muros estribo.

II. 4. 5. *Estratigrafía y propiedades*

Con base en la información recopilada, los trabajos de exploración y los resultados de laboratorio, se estableció el marco geotécnico que caracteriza al sitio.

El subsuelo del sitio en estudio presenta la típica formación estratigráfica de la zona geotécnica del lago centro. Esta formación se compone por: 1) Costra Superficial (de 0 a 5 m de profundidad), constituida por suelos arcillosos orgánicos, limos y arcillas arenosas endurecidas por secado, además de capas de arena y rellenos heterogéneos; 2) Serie Arcillosa Superior (de 5 a 34 m), formada por una serie de estratos predominantemente arcillosos que forman un paquete compresible de baja resistencia al corte y alta deformabilidad, cuyas propiedades tienden a mejorar con la profundidad; en esta formación se observan capas arenosas y limo arenosas duras, entre las que destacan las ubicadas alrededor de los 15 y 30 m de profundidad; 3) Capa Dura (de 34 a 38.41 m.), constituida principalmente por arenas gruesas y capas de arena fina, poco limosas, en estado compacto; 4) Serie Arcillosa Inferior (de 38.41 m. a 47 m), con características similares a la Serie Arcillosa Superior con horizontes de arena y con mejores propiedades mecánicas y 5) Depósitos profundos (más de 47 m), constituyen el basamento local, sus materiales ofrecen una alta resistencia al corte y muy baja deformabilidad.

Mayores detalles sobre las unidades que forman el perfil estratigráfico, así como sus principales propiedades se describen a continuación:

➤ *Costra superficial y rellenos.*

Pertencen a esta unidad materiales compuestos principalmente por arcillas orgánicas, limos y arcillas arenosas, capas de arena y rellenos heterogéneos, ocupando un espesor de 5 m.

Por su condición, a los materiales que forman la costra superficial y los rellenos heterogéneos, no es posible asignarles propiedades geotécnicas; sin embargo, los resultados de los ensayos de laboratorio practicados en muestras inalteradas recuperadas de los PCA en los suelos predominantemente finos fueron los siguientes:

Propiedad	PCA-1	PCA-2	PCA-3	PCA-4	PCA-5
Profundidad de muestreo (m)	0.7	1.2	2.0	1.9	1.5
Peso Volumétrico γ (kg/m ³)	1362	1309	1524	1136	1289
Resistencia a compresión simple qu (t/m ²)	14.6	7.1	55.8	18.1	22.3
Cohesión aparente C _u (t/m ²)	5.0	3.5	12.0	5.2	9.2
Angulo de fricción interna Φ_{uu} (grados)	17	15	32	25	32
Módulo de deformación elástica Me (cm ² /kg)	0.0044	0.0053	0.0033	0.0060	0.0065

Tabla 6. Características de la exploración de los pozos a cielo abierto

Por su parte, los resultados de laboratorio practicados en las muestras inalteradas de los SM fueron:

Propiedad	SM-1	SM-2	SM-3	SM-4
Profundidad de muestreo (m)	3.30	2.45	2.45	2.45
Peso Volumétrico γ (kg/m ³)	1058	1255	1153	1185
Resistencia a la compresión simple qu (t/m ²)	1.3	1.3	4.4	5.1
Cohesión aparente C _u (t/m ²)	1.5	1	2.7	1.8
Angulo de fricción interna Φ_{uu} (grados)	18	12	9	18
Módulo de deformación elástica Me (cm ² /kg)	0.0702	0.0600	0.0105	0.0072
Esfuerzo de preconsolidación σ_c (kg/cm ²)	0.68	-	0.71	0.72

Tabla 7. Características de los sondeos mixtos.

Como se observa en la tabla, igualmente existen variaciones importantes en las propiedades determinadas de estos materiales.

Se destaca que en esta capa se localiza la posición del nivel de agua freática entre 1.2 y 2 m de profundidad.

➤ *Serie Arcillosa Superior*

Bajo la Costra Superficial y hasta aproximadamente 34 m de profundidad se encuentra la Serie Arcillosa Superior, constituida por un potente depósito compuesto por arcillas y arcillas limosas de origen lacustre. Estos materiales presentan una consistencia blanda a muy blanda y se observan en colores que varían entre negro, gris, café, verde y rojizo en diferentes tonos.

Este depósito presenta además algunas capas y horizontes de arena compacta y limos arenosos firmes. Entre estas capas destacan las ubicadas a 10, 15, 24 y 30 m. de profundidad. Particularmente, la capa ubicada a 15 m. de profundidad presenta un espesor de aproximadamente 3 m., y es atractiva para el desplante de las estructuras.

Los suelos arcillosos y arcillo limosos que forman este paquete, presentan un alto contenido de finos y contenidos de humedad ubicados entre el 89 y 387%. Se destaca que los contenidos de humedad se encuentran relativamente próximos al límite líquido, lo que se asocia con una consistencia relativa baja.

El registro de los SCE en los suelos finos acusa valores de resistencia que crecen con la profundidad desde 1 hasta aproximadamente 25 kg/cm².

Las capas de arena y limos arenosos detectadas en esta unidad, presentan contenidos de humedad y de finos, así como número de golpes en la prueba SPT, que difieren del resto del paquete.

Los resultados de los ensayos de laboratorio practicados en muestras inalteradas recogidas de esta unidad estratigráfica fueron los siguientes:

Propiedades	SM-1					
	7.5	12.45	19.45	22.45	26.45	32.2
Profundidad de muestreo (m)	7.5	12.45	19.45	22.45	26.45	32.2
Peso Volumétrico γ (kg/m ³)	1147	1119	1254	1271	1855	1242
Resistencia a la compresión simple q_u (t/m ²)	4.5	5.8	10	15.5	10.5	12.3
Cohesión aparente C_{uu} (t/m ²)	2.0	3.3	4.2	8.1	0.8	3.2
Angulo de fricción interna Φ_{uu} (grados)	8	2	7	2	19	19
Módulo de deformación elástica M_e (cm ² /kg)	0.009	0.009	0.009	0.007	0.006	0.007
Esfuerzo de preconsolidación σ_c (kg/cm ²)	0.59	0.77	1.31	1.82	1.72	1.62*

Tabla 8. Propiedades del SM-1

Propiedades	SM-2				
	7.35	10.45	17.45	24.50	29.45
Profundidad de muestreo (m)	7.35	10.45	17.45	24.50	29.45
Peso Volumétrico γ (kg/m ³)	1200	1342	1230	1223	1273
Resistencia a la compresión simple q_u (t/m ²)	2.9	5.1	5.1	5.9	15.3
Cohesión aparente C _u (t/m ²)	1.5	1.8	3.8	2.1	6.3
Angulo de fricción interna Φ_{uu} (grados)	2	9	4	5	5
Módulo de deformación elástica M _e (cm ² /kg)	0.0131	0.0086	0.0083	0.0082	0.0039
Esfuerzo de preconsolidación σ_c (kg/cm ²)	-	1.02	1.24	1.73	-

Tabla 9. Propiedades del SM-2

Propiedades	SM-3				
	6.45	11.45	18.45	26.45	33.00
Profundidad de muestreo (m)	6.45	11.45	18.45	26.45	33.00
Peso Volumétrico γ (kg/m ³)	1186	1115	1245	1252	1246
Resistencia a la compresión simple q_u (t/m ²)	4.2	6.8	7.9	15.5	6.0
Cohesión aparente C _u (t/m ²)	2.0	3.9	3.1	8.9	4.5
Angulo de fricción interna Φ_{uu} (grados)	8	0	10	4	7
Módulo de deformación elástica M _e (cm ² /kg)	0.0115	0.0099	0.0078	0.0050	0.0018
Esfuerzo de preconsolidación σ_c (kg/cm ²)	0.58	0.85	0.86	1.23	1.55

Tabla 10. Propiedades del SM-3

Propiedades	SM-4				
	6.45	11.45	17.45	26.45	32.45
Profundidad de muestreo (m)	6.45	11.45	17.45	26.45	32.45
Peso Volumétrico γ (kg/m ³)	1379	1122	1230	1189	1266
Resistencia a la compresión simple q_u (t/m ²)	5.0	6.6	4.2	7.3	18.4
Cohesión aparente C _u (t/m ²)	2.8	2.8	1.8	3.7	11.5
Angulo de fricción interna Φ_{uu} (grados)	6	0	12	7	2
Módulo de deformación elástica M _e (cm ² /kg)	0.0063	0.0065	0.0093	0.0064	0.0079
Esfuerzo de preconsolidación σ_c (kg/cm ²)	0.58	0.92	1.32	1.37	1.91

Tabla 11. Propiedades del SM-4

A la capa detectada a 15 m de profundidad, se le asignaron las siguientes propiedades:

Propiedades:	
Peso Volumétrico γ (kg/m^3)	1800
Cohesión aparente C_{uu} (t/m^2)	1.5
Angulo de fricción interna Φ_{uu} (grados)	30
Módulo de deformación elástica M_e (cm^2/kg)	0.001

Tabla 12. Propiedades de la capa a 15 metros.

➤ Capa Dura

A partir de los 34 m y entre los 38.41 m de profundidad, se detectó la Capa Dura formada por arenas gruesas con capas de arena fina, poco limosas, de color negro a gris, en estado compacto.

El contenido de humedad observado en esta unidad estratigráfica se ubica entre el 15 y 60% Por su parte, el contenido de finos se encontró entre el 10% y 20%.

En todo el espesor observado de esta capa el número de golpes registrado durante la prueba SPT, fue generalmente superior a 40. Estos valores muestran el estado compacto y firme en que se encuentran estos materiales.

Por su naturaleza, no fue posible obtener muestras inalteradas de esta capa; sin embargo, de acuerdo con sus características, e información recopilada, se le asignaron las siguientes propiedades:

Propiedades:	
Peso Volumétrico γ (kg/m^3)	1500 - 1600
Cohesión aparente C_{uu} (t/m^2)	0 - 10
Angulo de fricción interna Φ_{uu} (grados)	2.5 - 36
Módulo de deformación elástica M_e (cm^2/kg)	0.005 - 0.02
Relación de Poisson	0.25

Tabla 13. Propiedades de la capa dura

Como se observa esta capa ofrece propiedades de alta resistencia al esfuerzo cortante y baja deformabilidad.

➤ *Serie Arcillosa Inferior*

Bajo la Capa Dura y hasta los 47 m de profundidad se encuentra la Serie Arcillosa Inferior, constituida por arcillas de origen lacustre, poco arenosas, de color rojizo y de consistencia media a dura. Estos materiales se encuentran ínter estratificados con horizontes arenosos.

La resistencia establecida con los SCE en estos materiales se localiza alrededor de los 15 Kg./cm².

Las propiedades definidas para esta unidad a partir de ensayos de laboratorio fueron las siguientes:

Propiedades	SM-1	SM-2	SM-3	SM-4
Profundidad de muestreo (m)	43.45	40.5	39.00	42.00
Peso Volumétrico γ (kg/m ³)	1455	1493	1229	1436
Resistencia a la compresión simple q_u (t/m ²)	33.4	26.1	9.7	28.8
Cohesión aparente C_u (t/m ²)	14	6	8.5	13.2
Angulo de fricción interna Φ_{int} (grados)	9	14	9	9
Módulo de deformación elástica M_e (cm ² /kg)	0.0040	0.0051	0.0016	0.0046

Tabla 14. Propiedades obtenidas a partir de ensayos de laboratorio de la serie arcillosa inferior.

Se destaca que en esta unidad estratigráfica contribuyen con la mayor parte del hundimiento regional en la zona.

➤ *Depósitos Profundos*

Subyaciendo a todo el perfil estratigráfico descrito, a partir de los 47 m de profundidad se encuentran los Depósitos Profundos. Los materiales encontrados están formados por arenas finas limosas muy compactas, de color gris a negro.

Estos materiales constituyen el basamento local y presentan propiedades de alta resistencia al esfuerzo cortante y muy baja deformabilidad.

Durante la prueba SPT se registraron generalmente más de 50 golpes en todo el espesor explorado. El contenido de humedad determinado en muestras alteradas recuperadas de esta unidad, mostró valores ubicados entre el 15 y 50%. Por su parte, el contenido de finos se encontró entre el 45%.

II.4.6. Consideraciones sísmicas

Con base en la ubicación del sitio y siguiendo los lineamientos establecidos en las NTC para diseño por sismo del RCDF, siempre que se utilice el análisis dinámico modal para el análisis estructural, la configuración del espectro de diseño sísmico que regirá durante el análisis estará definida por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 a &= (1 + 3T/T_a)c/4 & \text{si } T < T_a \\
 a &= e & \text{si } T_a < T < T_b \\
 a &= qe & \text{si } T_b < T \\
 q &= (T_b/T)^r
 \end{aligned}$$

siendo $e = 0.4$, el valor del coeficiente sísmico para estructuras del Grupo B. Los parámetros T_a y T_b corresponden a los periodos característicos que acotan la meseta de máximas aceleraciones en el espectro de diseño.

Para el sitio de interés a los periodos característicos se les asignan valores de 0.6 y 3.9 segundos, respectivamente. Por otra parte, el exponente que define la caída del espectro para periodos estructurales largos se considera como $r = 1$

Con base en el espectro de diseño asociado a este sitio, se considera que la aceleración en la superficie del depósito ante la ocurrencia de un sismo severo es de 0.1 g.

Se destaca que las últimas investigaciones desarrolladas sobre la respuesta sísmica del terreno del valle de México, indican que aquellas zonas con periodos de vibración del suelo ubicados alrededor de los 2 segundos, pueden estar sujetos a fuerzas sísmicas severas. Existen actualmente criterios de diseño sísmico que incluyen estos efectos; sin embargo, aún no están expuestos en el Reglamento de Construcciones vigente. Se considera valioso tomarlas en cuenta para el diseño sísmico de la estructura proyectada, pues el terreno en estudio presenta un periodo de vibración coincidente con el indicado.

En la modificación a las NTC para Diseño por Sismo que próximamente entrarán en vigencia, se considera que para esta zona el coeficiente sísmico en estructuras del Grupo B debe ser mayor, siendo $e = 0.45$ con periodos característicos T_a y T_b de 0.85 y 3, respectivamente. Adicionalmente, la ordenada espectral al origen debe considerarse como 0.11 g. (aceleración del terreno) y el exponente que define la caída del espectro como $r = 2$. La aceleración espectral para el diseño estructural puede estimarse directamente en función del periodo fundamental de la estructura proyectada. Tomando los espectros reglamentarios actuales y el que entrará próximamente en vigor.

Se destaca que para el diseño sísmico de estructuras del Grupo A, las ordenadas espectrales deberán incrementarse un 50%.

II.4.7. Cimentación

De acuerdo con las condiciones estratigráficas observadas en el sitio, la magnitud del hundimiento regional, las condiciones generales que gobiernan en la zona y las características del proyecto, se propone que la mejor alternativa de cimentación para el puente, consiste en utilizar pilotes para las estructuras que generan las mayores descargas y cajones de cimentación para las ligeras

Los apoyos del puente se soportarán en pilotes de concreto, con sección cuadrada de 40 cm. por lado y desplantados en la capa arena limosa compacta, a 15 m de profundidad. Los pilotes se ligarán estructuralmente a los apoyos del puente mediante zapatas. Estos elementos deben presentar la rigidez suficiente para transmitir las cargas a la cimentación.

Las rampas de aproximación al puente estarán formadas por terraplenes aligerados y se limitarán a una altura máxima de 1.2 m. En el lado sur, a partir de donde la rampa de aproximación presenta una altura mayor a 1.2 m, se construirá un Aireplén desplantado a una profundidad variable entre 1.2 y 2 m. Esta estructura compensará las descargas inducidas por la rampa de acceso al puente en la Av. Plan de Muyuguarda. El aireplén es una estructura del tipo cajón estanco, formado con losas, traveses y muros laterales.

En la siguiente fotografía se muestra parte del procedimiento de construcción de las rampas de aproximación.



Fotografía 7. Rampas de aproximación.

A continuación se citan las características con que debe cumplir la cimentación, así como las condiciones de resistencia y deformación que rigen para el diseño.

➤ *Pilotes*

En esta foto se muestra parte del procedimiento de hincado de pilotes.

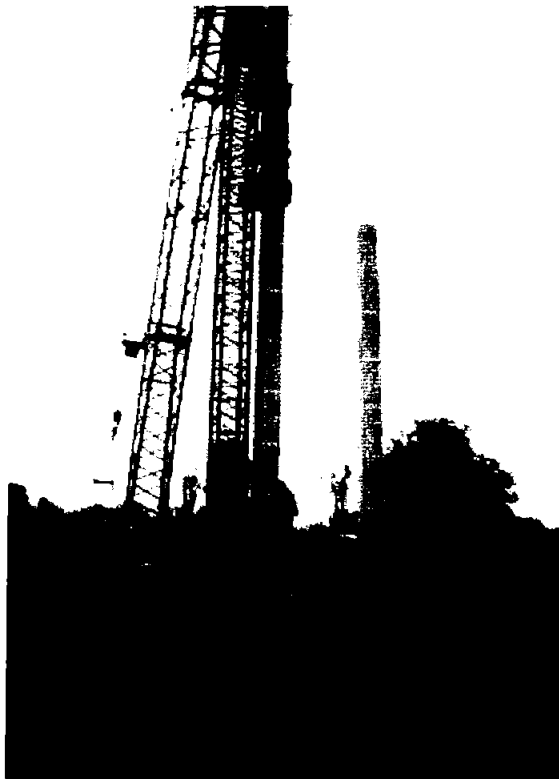


Foto 8. Hincado de pilotes

Resistencia

De acuerdo con el criterio propuesto por L. Zeevaert, la capacidad de carga última (Q_u) en el estrato de apoyo para cimentaciones de este tipo, se

evalúa mediante la siguiente expresión:

$$Q_u = Q_{up} + Q_{uf}$$

donde Q_{up} representa la capacidad de carga última por punta, y Q_{uf} la capacidad de carga última debido a la fricción positiva generada entre el fuste del pilote.

La capacidad de carga admisible (Q_a) aplicable al diseño de la cimentación se establece incluyendo un factor de seguridad a la parte friccionante (F_{sp}), la contribución por punta (F_{sp}) en la expresión anterior que, para este tipo de cimentaciones se considera entre 1.5 y 2 para la parte friccionante y entre 3 y 4 para la contribución por punta. Con ello, la capacidad de carga admisible queda representada por

$$Q_a = Q_{up} / F_{sp} + Q_{uf} F_{sp}$$

La capacidad de carga última por punta del pilote se define mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{up} = 1.2 a_p (c N_c + \sigma_z N_q) (D_r + 0.1)$$

siendo a_p el área de la sección del pilote a nivel de desplante, N_c y N_q son factores de capacidad de carga que dependen del ángulo de fricción interna del depósito de apoyo Φ y de la geometría de la superficie potencial de deslizamiento asumida. El valor de c , es la cohesión aparente asignada al material de apoyo, σ_z es el esfuerzo vertical a la profundidad de desplante del pilote y la compacidad relativa del suelo bajo el pilote esta representada por el término D_r .

Se destaca que dada la posición donde se localiza la capa de apoyo de los pilotes, ésta se encuentra sujeta a la misma velocidad de hundimiento regional que la correspondiente a los estratos superficiales y, por tanto, no se induce un efecto de fricción negativa sobre los pilotes.

La evaluación de la capacidad por carga última por fricción, o fricción positiva (PF), en la longitud de trabajo del pilote se determina mediante

$$Q_{uf} = \omega l_s f$$

donde ω y l_s representa al perímetro y longitud de trabajo del pilote, respectivamente, es decir cuantifican el área lateral del pilote; y f se asocia con la adherencia lateral media entre el pilote y el suelo.

Aplicando el criterio expuesto para el cálculo de la capacidad de carga y en función de las propiedades geométricas y materiales que gobiernan el sistema suelo-pilotes del problema en estudio, se tiene que al considerar los factores de seguridad respectivos, la capacidad de carga admisible es

$$\begin{array}{ll} Q_a = 40 t & \text{cargas permanentes} \\ Q_a = 53 t & \text{cargas accidentales} \end{array}$$

Deformación

Debido a las condiciones estratigráficas del sitio y la solución de cimentación propuesta, los asentamientos en la estructura tendrán dos componentes, una elástica (δ_e) que se presentarán durante la etapa constructiva del inmueble y, la otra diferida (δ_p) que ocurrirá a largo plazo debido a un proceso de consolidación en las arcillas.

La magnitud de las deformaciones esperadas δ se estimarán a partir de la ecuación siguiente:

$$\delta = \sum_1^n M_i \Delta\sigma_i d_i$$

que representa la suma de las deformaciones evaluadas en los n estratos involucrados en función de los módulos de deformación M_i , a corto o largo plazo, en la profundidad de interés, así como en función del incremento de esfuerzos $\Delta\sigma$ y el espesor d .

Bajo este criterio e incluyendo la interacción producida por el grupo de pilotes, se esperan deformaciones durante la construcción del orden de 3 cm. A largo plazo los asentamientos serán de 7 cm., aproximadamente. Por otra parte, se considera que los asentamientos generados por las descargas permanentes del inmueble y que ocurrirán a largo plazo, se verán acompañadas del hundimiento regional que experimenta la zona.

Revisión por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF)

A partir del criterio que se establece en el RCDF a través de las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de cimentaciones, se verificará que los diversos grupos de pilotes de fricción y para cada pilote individual, cumplan con la desigualdad siguiente:

$$\sum QF_c < R$$

siendo $\sum QF_c$ la suma de las acciones verticales a tomar en cuenta bajo cualquier condición afectadas por su correspondiente factor de carga. Para el sistema de cimentación propuesto, la carga neta que se admite transmitir al suelo por cada pilote es de 40 t en condición estática y 53 t en condición accidental. Con ello, y considerando que los factores de carga ante condiciones estáticas y accidentales son $F_c = 1.4$ y $F_c = 1.1$, respectivamente, se tiene que:

$$\begin{aligned}\sum QF_c &= 56 \text{ t} && \text{en condición estática} \\ \sum QF_c &= 58 \text{ t} && \text{en condición accidental}\end{aligned}$$

Por su parte, R representa la capacidad de carga del sistema de cimentación. Para el caso de los pilotes propuestos, la resistencia es función de su capacidad de carga admisible por fricción lateral C_f y por punta C_p .

La capacidad de carga por adherencia lateral de un pilote, o grupo de pilotes, de fricción bajo esfuerzos de compresión se calculará como:

$$C_f = A_L f F_R$$

siendo A_L el área lateral del pilote o el área lateral envolvente de un grupo de pilotes; f la adherencia lateral media del pilote-suelo que para el caso de interés se considera como la cohesión media del suelo determinada en pruebas de compresión triaxial bajo condiciones de drenaje nulas, y $F_R = 0.7$ representa el factor de reducción ante condiciones de carga estáticas. Para cargas de tipo accidental este factor se calcula mediante:

$$F_R = 0.7(1 - \frac{s}{5})$$

donde s representa la relación entre los máximos de la sollicitación sísmica y la sollicitación total actuando sobre los pilotes. Se destaca que en la modificación a las NTC para diseño de cimentación se propone que $F_R = 0.7$ sea adoptado para cualquier condición de carga.

Para suelos con comportamiento predominantemente friccionante, en las NTC se establece que la capacidad de carga por punta (C_p) sea evaluada con la siguiente expresión:

$$C_p = (p_v N_q^* F_R + p_v) A_p F_{re}$$

siendo A_p el área transversal de la pila, N_q^* el factor de capacidad de carga dependiente del ángulo de fricción interna del suelo de apoyo, p_v y p_v el esfuerzo vertical total y efectivo a nivel de desplante, respectivamente y $F_R = 0.35$ el factor de reducción. El término F_{re} representa un factor de reducción

adicional que incluye efectos de escala para aquellos elementos de más de 50 cm. de diámetro.

Al sustituir los parámetros correspondientes en la expresión anterior, se obtuvo que la capacidad de carga en los pilotes bajo las condiciones de diseño establecidas es

$$C_p = 58.5 \text{ t}$$

Como se observa, la capacidad de carga establecida ante cualquier condición de carga cumple con la desigualdad establecida en las NTC del RCDF.

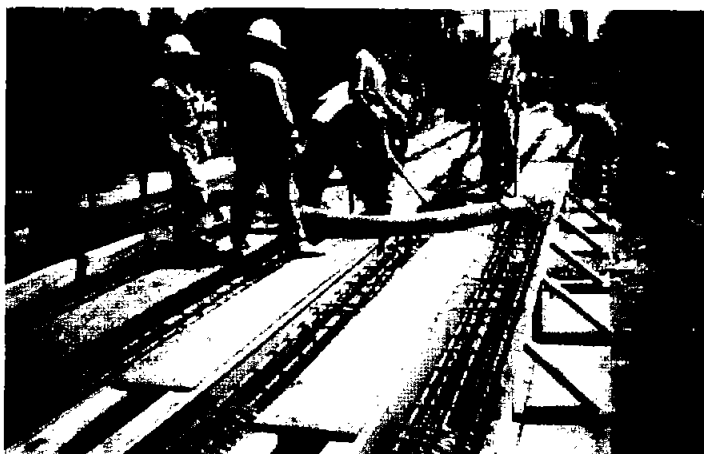
Por otra parte, el RCDF establece que para cumplir con los estados límite de servicio deberán considerarse los siguientes valores de deformación máximos admisibles

<i>Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación</i>			
Movimientos verticales	Asentamiento	Construcciones aisladas	<30cm
		Construcciones colindantes	<15cm
	Emersión		<30cm
	Velocidad del componente diferido		< 1 cm/semana
Inclinación media	Inclinación visible	< 1 00(1 00+3h) por ciento	h = altura de construcción
Deformaciones diferenciales	Distorsión angular en marcos de acero		< 0.006
	Distorsión angular en marcos de concreto		< 0.004
	Distorsión angular en muros de carga		< 0.002

Tabla 15. Límites de deformaciones máximos

Los movimientos verticales por asentamiento esperados en la estructura proyectada son inferiores a los máximos permisibles por el RCDF, cumpliendo así con los estados límite de servicio.

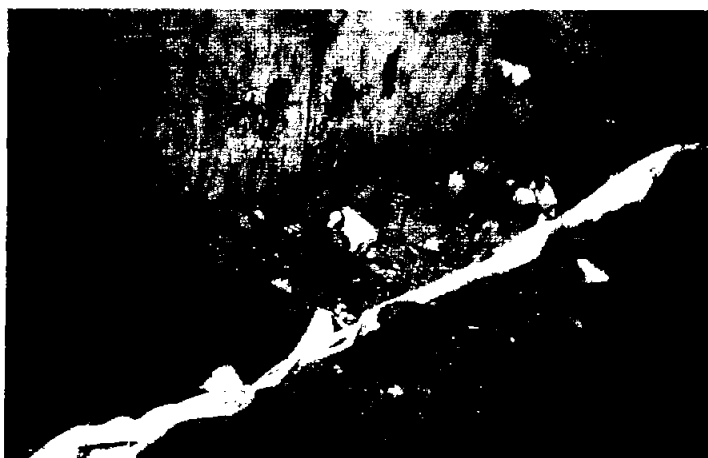
Por otra parte, otra etapa importante acerca de la cimentación fue el colado de pilotes ya que para esto se necesita que este procedimiento sea el óptimo para evitar daños posteriores en ellos debido a baja resistencia o que se presenten deformaciones mayores a las permitidas de acuerdo al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. Y en la siguiente fotografía se muestra parte de este proceso de colado, así mismo se puede observar que se presta especial interés en esta etapa por parte de los operarios del equipo de bombeo de concreto.



Fotografía 9. Colado de Pilotes

Finalmente una vez que se terminó el colado de pilotes se tuvo que pasar a otra etapa básica para poder continuar la obra, y que muchas veces no se le da tanta importancia pero que constituye un paso importante dentro del procedimiento constructivo y que es el descabece de pilotes.

Y en la siguiente imagen podemos ver la realización de este procedimiento por parte de los operarios de la empresa constructora.



Fotografía 10. Descabece de pilotes.

II. 5. TIPO DE ESTRUCTURA

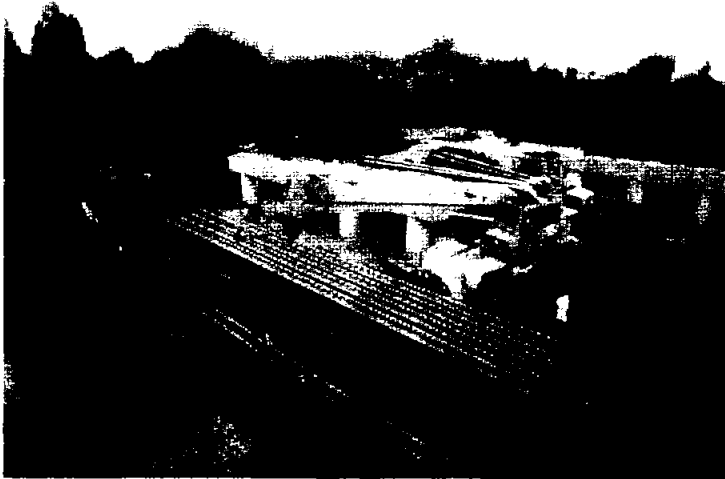
La estructura completa del puente vehicular se conforma de dos etapas que son: la subestructura y la estructura del puente.

La subestructura comprende la conformación de muros estribo, que alojará a las travesaños "I" de acero y la colocación de las mismas. El procedimiento constructivo de los muros estribo consiste en la colocación de acero de refuerzo, cimbra para colado y aplicación de concreto premezclado: Una vez terminados los muros estribo se colocarán de manera mecánica las travesaños, "I" de acero. El apoyo para las travesaños esta constituido por apoyos elastoméricos de neopreno con placas intercaladas de acero laminado y que permiten una amortiguación general de las cargas dinámicas, y de la vibración e impacto de las cargas de la estructura.

En las siguientes imágenes se ilustra: la colocación de las placas de acero y neoprenos (Foto 11a), y el montaje de las travesaños metálicas con ayuda de una grúa con pluma (Foto 11b.)



Fotografía 11a. Colocación de soportes de acero y neopreno.



Fotografía 11b. Colocación de traves metálicas.

La etapa de la estructura se inicia con la colocación de tabletas prefabricadas. Para estas maniobras se requerirá la utilización de una grúa con pluma. Una vez terminado este concepto se inicia el habilitado de acero y posteriormente el vaciado de concreto premezclado para el firme de compresión, suministrando por camiones revolvedora con una capacidad de 7 m³, bombeado dicho concreto con un brazo telescópico.

- ***Aireplén***

La estructura de aproximación al puente, o rampa del lado sur, estará compuesta por estructuras parcialmente enterradas. El enterramiento de este aireplén compensará las cargas impuestas. Por tanto, será necesario enterrar estos elementos hasta 2 m en la zona de mayores descargas y sólo 1.2 m hacia el final de la rampa. Para su diseño se aplicaron los criterios siguientes.

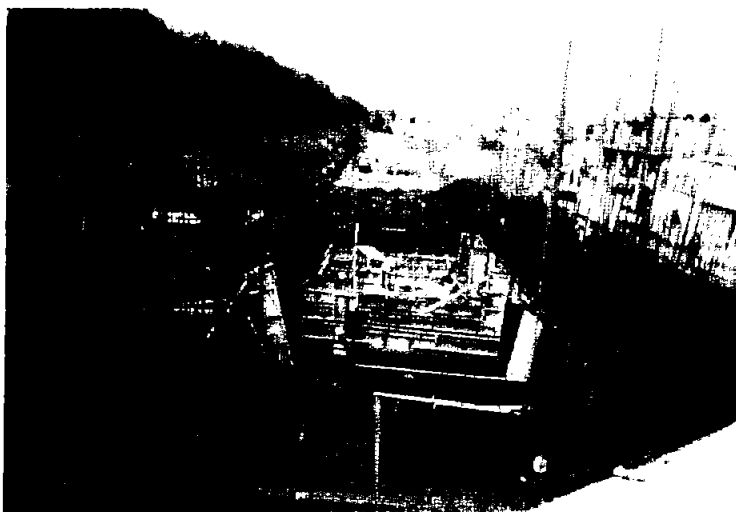
En la siguientes fotografías se muestra imágenes de lo que fue la construcción del aireplén en sus diferentes etapas como son: La excavación de la zona de aireplén (Fotografía 12); El armado de los muros del aireplén (Fotografía 13); El colado de las traves en esta zona (Fotografía 14); La colocación del poli estireno dentro de los cajones del aireplén (Fotografía 15); Y el montaje de las traves sobre el área del aireplén (Fotografía 16).

En la Fotografía 12. Podemos observar como se fue excavando la zona donde iban a ser colocados los cajones del aireplén, así como también podemos ver el equipo que se utilizó para esta operación.



Fotografía 12. Excavación en la zona de aireplén.

Fotografía 13. En esta imagen podemos ver el armado de los muros del aireplen.



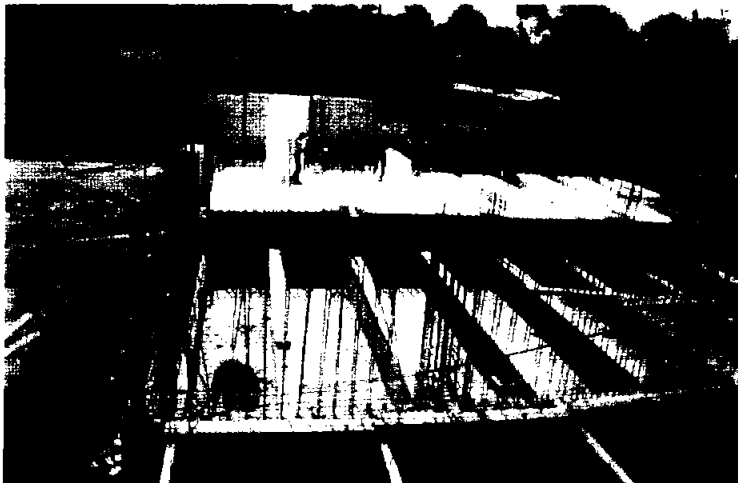
Fotografía 13. Armado de los muros del aireplén.

Fotografía 14. En esta imagen se ve como fueron coladas las traves en las zona del aireplén, y ahí podemos ver el equipo (bombas neumáticas lanzadoras de concreto) con el cual se realizó este procedimiento.



Fotografía 14. Colado de traves en la zona de aireplén.

Fotografía 15. Aquí podemos observar como se rellenan de poli estireno los cajones del aireplén.



Fotografía 15. Relleno de los cajones del aireplén

La presión total media considerada para el análisis se determinó con la siguiente expresión

$$W_T = \frac{P_T}{A}$$

donde W_T es la presión total; P_T la carga total y A el área de contacto. Por su parte, la presión de compensación resultado de la excavación del suelo se calculó como

$$P_d = \gamma D_f$$

siendo P_d la presión de compensación, y el peso volumétrico del suelo excavado y D_f la profundidad de desplante.

Sustituyendo los valores correspondientes, la presión de compensación se ubica entre 1.8 y 3 t/m^2 . Estos niveles de esfuerzo igualan, en términos generales a la presión transmitida por la estructura de aproximación, considerándose como una cimentación totalmente compensada.

Dado que el esfuerzo transmitido por la estructura corresponde al que existía originalmente en el suelo, el incremento de esfuerzo es nulo, por tanto, se cumple con el estado límite de falla establecido en las NTC del RCDF.

Por su parte, las deformaciones esperadas por la expansión del suelo durante la excavación y la posterior recompresión por la construcción de la estructura serán inferiores a 5 cm.

➤ *Presión horizontal en muros de Aireplén*

Los muros de contención perimetrales al Aireplén que se encuentran enterrados, o los de las paredes de cualquier estructura enterrada que contemple el proyecto, se diseñarán estructuralmente contra los empujes generados por el terreno natural y sobrecarga generada por las colindancias.

Las presiones horizontales σ_h sobre las paredes de los elementos de contención se definirán a partir de los esfuerzos verticales σ_v generados por el relleno y la sobrecarga en superficie q_o . La relación entre estos parámetros queda definida por la siguiente expresión:

$$\sigma_h = K_o(\sigma_v + q_o)$$

siendo $K_o = 1 - \text{sen}\Phi$ el coeficiente de presión de tierras en reposo.

Considerando que las presiones sobre los muros que rigen en el diseño son las que ocurren a largo plazo, se consideró un valor de ángulo de fricción interna $\phi_{CD} = 30^\circ$ representativo para los materiales de relleno.

Adicionalmente y con objeto de establecer los incrementos de esfuerzo generados por la acción de un sismo severo sobre los muros del sótano, se consideró una aceleración en la superficie del terreno $a_0 = 0.1 g$. La fuerza sísmica (F) asociada al incremento de esfuerzo se determina a partir de

$$F = m a_0$$

donde m representa la masa de suelo y relleno que empuja sobre la superficie vertical del sótano durante el sismo. Este parámetro es función del peso volumétrico de los materiales involucrados y la sobrecarga.

Bajo este escenario y considerando una sobrecarga en superficie de 1.5 t/m^2 , la expresión que define los empujes sobre las paredes de la estructura de sótano es la siguiente

$$\sigma_H = 0.9z + 0.96$$

esta expresión es válida para una profundidad de enterramiento de hasta 2 m como máximo.

En este análisis se ha despreciado el efecto de las presiones hidrostáticas, por lo que deberá preverse una capa de material drenante en el contacto relleno-muro, que junto con un sistema de captación desalojará hasta el drenaje el agua que pueda acumularse por escurrimientos.

➤ *Interacción entre la cimentación y el cajón del río*

Con la finalidad de establecer la influencia que la estructura proyectada tendrá en el cajón del río San Buenaventura y evaluar sus efectos se realizó un análisis de interacción.

En el estudio de las deformaciones para el punto más afectado en la estructura de encauce del río se determinó que los asentamientos inducidos serán despreciables durante la construcción (inferiores a 1 cm.) y de 2 cm. a largo plazo.

Para definir los esfuerzos que inducen los pilotes al suelo, se estableció en primer lugar, la carga neta que cada pilote transmite al suelo a través de la punta y fuste, con lo que se estableció la posición del nivel neutro.

La fuerza con que cada segmento del pilote contribuye a soportar la carga neta aplicada es función de la adherencia que existe entre el suelo y el fuste del pilote (Δq_{hi}). Por lo que para un segmento de pilote i con perímetro medio p_i y longitud h_i tal fuerza se evalúa mediante la siguiente expresión.

$$\Delta q_{hi} = f_i p_i h_i$$

Adicionalmente debe considerarse la fuerza en la punta del pilote, que resulta equivalente a la capacidad de carga última por punta (Q_{up})

$$\Delta Q_p = Q_{up}$$

Para conocer la contribución de cargas en términos de esfuerzos, se incluyeron las condiciones geométricas del pilote.

Conocidos los esfuerzos a lo largo del pilote por debajo del nivel neutro, se determinaron los incrementos de esfuerzos en cada uno de los segmentos. Para ello, se recurrió a la solución de Mindlin, donde el esfuerzo vertical bajo la esquina de un rectángulo uniformemente cargado (σ_z) en el interior de un semiespacio, se define a partir de la integración de Skopek, de la forma siguiente

$$\sigma_z = p \left[\frac{I}{4\pi(1-\nu)} \right]$$

donde p es la carga vertical por unidad de área, ν la relación de Poisson del depósito y el factor de influencia I se determina mediante

$$I = \left[\begin{aligned} & (1-\nu) \left(\arctan \frac{ab}{(z-h)R_1} + \arctan \frac{ab}{(z+h)R_2} \right) + \frac{(z-h)aR_1}{2br_1^2} - \frac{a(z-h)^3}{2br_3^2R_1} \\ & + \frac{[(3-4\nu)z(z+h) - h(5z-h)]}{2(z+h)} aR_2br_2^2 - \frac{[(3-4\nu)z(z+h)^2 - h(z+h)(5z-h)]}{2br_4^2R_3} a \\ & + \frac{2hz(z+h)aR_2^3}{b^3r_2^4} + \frac{3hzaR_2r_3^2}{(z+h)b^3r_2^2} - \frac{hz(z+h)^3}{br_4^4R_2} a \left(\frac{2b^2 - (z-h)^2}{b^2} - \frac{a^2}{R_2^2} \right) \end{aligned} \right]$$

siendo a y b el ancho y largo de la superficie rectangular, respectivamente, z la profundidad de análisis y h la profundidad dentro del medio donde se ubica la superficie cargada (segmentos del pilote). El resto de las variables se determinan con las relaciones siguientes

$$\begin{aligned}
 R_1^2 &= a^2 + b^2 + (z - h)^2 & R_2^2 &= a^2 + b^2 + (z + h)^2 \\
 r_1^2 &= a^2 + (z - h)^2 & r_2^2 &= a^2 + (z + h)^2 \\
 r_3^2 &= b^2 + (z - h)^2 & r_4^2 &= b^2 + (z + h)^2 \\
 r_5^2 &= b^2 + (z + h)^2
 \end{aligned}$$

Para conocer el incremento de esfuerzos generado inmediatamente por debajo de la profundidad media del segmento del pilote en estudio, el esfuerzo asociado queda representado por p y corresponde a la contribución de esfuerzos en ese segmento, además de ello, durante la cuantificación de I se considera que $h = z$.

Por otra parte, el decremento de esfuerzos por encima de la profundidad media del segmento del pilote en estudio, se evalúa bajo las mismas consideraciones y utilizando el complemento del valor de influencia:

$$\sigma_z = -p \left[1 - \frac{I}{4\pi(1-\nu)} \right]$$

Para determinar una distribución de esfuerzos verticales en cualquier otro punto dentro de la masa del suelo, es válido aplicar la solución de Boussinesq, considerando que los esfuerzos previamente calculados se suponen actuando en la superficie del semiespacio con la orientación que corresponde a incrementos, o decrementos, de esfuerzos a partir de la posición del nivel neutro.

La solución de Boussinesq que se aplicó corresponde a la de carga concentrada Q , definida como

$$\sigma_z = \frac{Q}{z^2} \left\{ \frac{3}{2\pi} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2} \right]^{\frac{5}{2}} \right\}$$

donde z es la profundidad de interés y r es la distancia radial horizontal entre el punto de aplicación de la carga y el punto de análisis.

Con la superposición de los incrementos, o decrementos, de esfuerzos que cada pilote genera sobre un punto en particular, se determinó la variación de esfuerzos que todo el sistema induce.



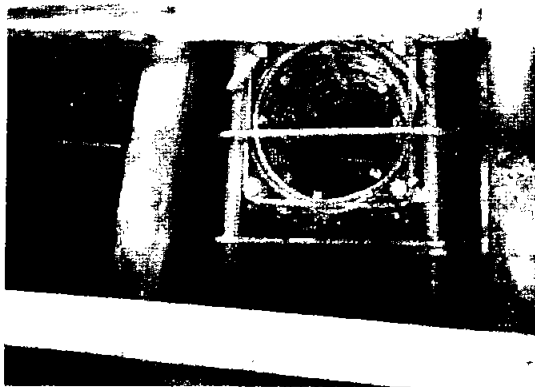
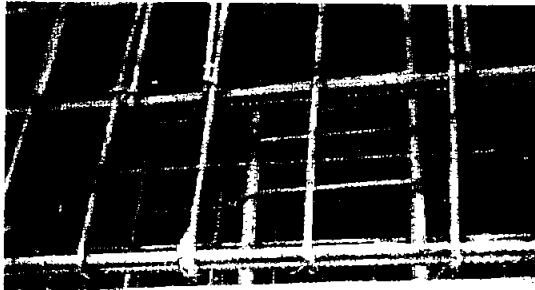
CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN

Con objeto de proteger a las colindancias del predio y evitar cualquier daño a las instalaciones locales o municipales, deberá realizarse un procedimiento constructivo cuidadoso. Para ello, se considerarán los siguientes puntos relacionados con la construcción de la cimentación y colocación de rellenos.

Por su parte la cimentación de los apoyos centrales y estribos estará formada por zapatas ligadas a pilotes.

En la siguiente imagen podemos observar la unión de estos elementos estructurales (pilote, zapata y columna)



Fotografía 16. Unión de pilote, zapata y columna.

A continuación se describen las actividades consideradas para la construcción de la cimentación del puente en sus diferentes apoyos.

III . 1 . *FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE PILOTES.*

- *Colocación de pilotes*

Con objeto de guiar y facilitar el hincado de pilotes, además de evitar movimientos excesivos en la masa del suelo adyacente se considerarán los siguientes puntos:

- *Perforación guía*

- Deberá determinarse con exactitud (mediante estacas) la ubicación de los puntos donde se hincarán los pilotes de acuerdo con los planos de construcción. Antes de iniciar la perforación deberán verificarse las posiciones del pilote y elementos estructurales de liga, las cuales no variarán en más de 2 cm. con respecto a las del proyecto.
- El equipo deberá tener la capacidad suficiente para el hincado de los pilotes, y la herramienta tendrá que ser la adecuada para realizar una perforación con diámetro de 50 cm. de modo que la perforación circunscriba al fuste del pilote, con una tolerancia de ± 2.5 cm.
- Durante la perforación deberá verificarse su verticalidad, además de conservar las dimensiones del proyecto en toda su profundidad.
- La perforación guía se realizará con extracción y alcanzará una profundidad de 2 m respecto al nivel de la vialidad actual de la calle Plan de Muyuguarda.
- El tiempo máximo admisible entre la perforación y el hincado será de 36 hrs.

A continuación se presenta una imagen en la que podemos observar la perforación que se realizó para en hincado de pilotes.



Fotografía 17. Perforación guía

- *Hincado de pilotes*

La instalación de los pilotes de concreto, debe efectuarse garantizando la integridad estructural del pilote y su integración con el suelo, de manera que cumpla su cometido. No deberán ocasionarse daños a las estructuras e instalaciones vecinas por vibraciones o desplazamiento vertical y horizontal del suelo, por lo que se tendrán que seguir las siguientes indicaciones:

- Durante la construcción de los pilotes deberá tomarse en cuenta su longitud, en función de la ubicación de estos elementos conforme al proyecto y atendiendo a la topografía del sitio.
- No deberán hincarse aquellos pilotes que presenten agrietamientos o fisuras.
- Es conveniente que se coloquen marcas, para así llevar un registro del número de golpes necesarios por cada decímetro en el tramo de hincado.
- Después del manejo e izaje de los pilotes se colocarán en la perforación previa, esta maniobra se realizará una vez que los pilotes hayan alcanzado por lo menos el 75 % de la resistencia del proyecto.
- El pilote y la resbaladera del martillo se colocarán en forma vertical, de caso contrario deberá corregirse, la posición de la grúa hasta lograrlo. Para alcanzar la verticalidad del pilote pueden emplearse dos plomadas de referencia colocadas en líneas a 90 grados, teniendo como vértice el pilote o bien, otro método que garantice dicha verticalidad, orientando siempre las caras del pilote de tal forma que sean paralelas a las de las contratraves.
- La cabeza del pilote, deberá acoplarse perfectamente al gorro del martillo piloteador, el cual tendrá una sufridera a base de material plástico o similar; en la parte de contacto con el pilote se colocará un colchón de madera.
- Deberá utilizarse para el hincado un martillo pesado de velocidad de impacto baja. El peso del pistón móvil no debe ser menor a 0.3 veces el peso del pilote y la energía del martillo será superior a 0.3 kg-m por cada kilogramo de peso del pilote. En caso de que el peso del pistón sea demasiado grande con relación al del pilote, deberá regularse la energía para no dañar a este último. La altura de caída se mantendrá del orden de 0.75 a 1.0 m.
- La velocidad del pistón o la carrera se reducirá al principio del hincado, cuando se encuentre en la zona alterada de la perforación, además de realizarse con sumo cuidado para minimizar los esfuerzos de tensión en el pilote.
- Los pilotes dañados durante el hincado deberán retirarse y sustituirse por otros en perfecto estado.
- Una vez iniciado el hincado de cada pilote no se deberá suspender esta actividad hasta que la punta alcance la profundidad de proyecto (-15 m,

aproximadamente).

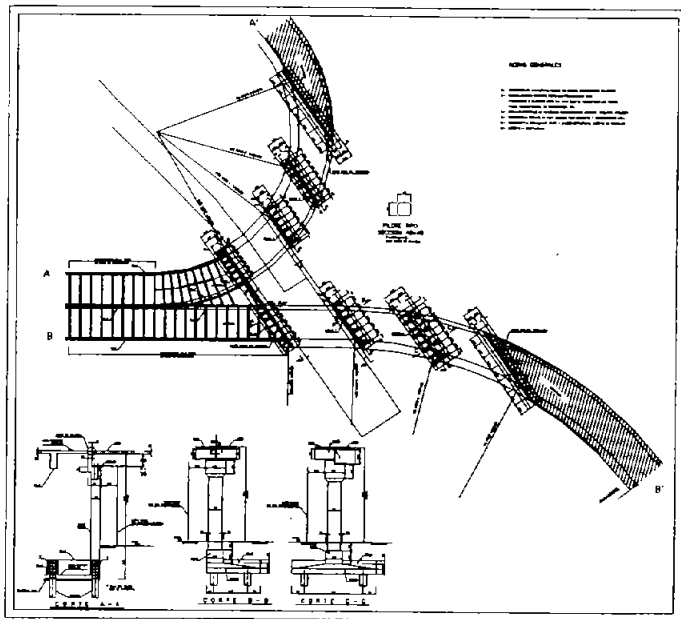
- Durante el hincado deberá llevarse un registro del número de golpes necesarios para hincar la totalidad del pilote.
- Una vez que de inicio el hincado de cada pilote, bajo ninguna circunstancia se podrá suspender hasta garantizar un empotramiento en la capa de arena al menos un lado y se requiera de un mínimo de 10 golpes para hincar 5 cm.
- Los pilotes se hincarán en líneas paralelas a la estructura del cajón del Río San Buenaventura.
- La desviación angular máxima admisible del pilote es de 2%, y la tolerancia en la profundidad de hincado de $\pm 1\%$ de la longitud total.

En la siguiente imagen se muestra este proceso de hincado de pilotes con guía.



Fotografía 18. Hincado de pilotes con guía.

Finalmente después del hincado de los pilotes el sembrado final de éstos, quedó de la siguiente manera cumpliéndose las especificaciones del plano que se muestra a continuación.



Plano 1. Planta General de Cimentación.

III . 2 . EXCAVACIONES.

- *Excavación en la zona de aireplén.*
 - La excavación en la zona de aireplén se efectuará por tramos alternados hasta la profundidad de desplante indicada en el proyecto (1.2 a 2 m de profundidad). Cada tramo presentará una longitud inferior al ancho del aireplén (B=19 m aproximadamente). Entre cada tramo de excavación existirá al menos una separación de igual longitud. La excavación se realizará con equipo ligero y siguiendo la geometría indicada en proyecto. En caso de existir rellenos no controlados, deberán retirarse en su totalidad y sustituirse por material mejorado (tezontle).
 - La excavación se efectuará formando taludes en sus paredes cuya

relación horizontal vertical sea 0.5:1 y ocupará un área cuyos lados sean 50 cm. mayores a los de la geometría del aireplén a nivel de desplante. Esta excavación deberá permanecer abierta el mínimo tiempo posible (20 días máximo). En caso de presentarse grietas longitudinales paralelas a la excavación o exceder el tiempo de exposición, el talud deberá tenderse hasta alcanzar una relación vertical horizontal 1:1 y protegerlo mediante concreto lanzado y malla de gallinero, o bien, será necesario implementar un sistema de contención temporal a base de viguetas, tablonés y polines.

- En aquellos casos donde los límites del cajón por construir estén próximos (a una distancia igual a la profundidad de excavación) ó por debajo de alguna instalación municipal, se reducirá el sobre ancho de la excavación y se tenderá el talud con la misma relación.
 - Los últimos 20 cm. de la excavación se ejecutarán con herramienta manual evitando el remoldeo del terreno.
 - Sobre la superficie conformada y acorde con los niveles de proyecto, se colocará una capa de tezontle de 20 cm. de espesor uniforme. Posteriormente se hará circular sobre ella un equipo de compactación ligero, propiciando así su incrustación y obtener una superficie de trabajo uniforme. El espesor de esta capa deberá considerarse desde la excavación para no alterar los niveles de proyecto.
 - Se eliminará la colocación de sobrecargas y tránsito de vehículos de carga en una franja paralela a la excavación y de ancho igual a la profundidad de la misma.
- *Excavación en apoyos centrales y estribos.*
 - La excavación para las zapatas piloteadas deberá iniciarse hasta que la totalidad de éstos hayan sido hincados.
 - La excavación se realizará en una sola etapa hasta la profundidad de desplante; la geometría de proyecto no variará en más de 20 cm. por lado.
 - La excavación deberá observar taludes cuya relación horizontal vertical sea 0.5:1 y ocupará un área cuyos lados serán de 50 cm. mayores a los de la geometría de la zapata a nivel de desplante.
 - La excavación deberá permanecer abierta el mínimo tiempo posible (15 días). En caso de presentarse grietas longitudinales paralelas a la excavación, el talud deberá tenderse hasta una relación 1: 1 o bien será necesario implementar un sistema de protección o contención temporal

(malla de gallinero con concreto pobre lanzado o tablestacado).

- *Rellenos*

- El confinamiento exterior de los muros del aireplén, el de las zapatas piloteadas, así como todos los que se utilicen para obtener niveles de proyecto y no cumplan una función estructural (pavimentos), serán materiales inertes compactados en capas al 95% de su peso volumétrico seco máximo (PVSM) además de alcanzar un valor relativo de soporte (VRS) de 20 % mínimo. Alternativamente se podrán utilizar rellenos aligerados constituidos por tezontle.
- En caso de que se opte por rellenos aligerados (tezontle), estos se colocarán en "greña", en capas con espesor máximo de 50 cm. hasta alcanzar el nivel de terreno natural o el desplante de la capa sub-base de la estructura de pavimentos.
- Las características del material y su colocación se consignan a continuación:
 - El tezontle por colocar no deberá contener más del 30% de fragmentos mayores a 4" y no más del 5% de fragmentos mayores de 8", no deberá contener partículas finas plásticas. Adicionalmente presentará una distribución granulométrica bien graduada.
 - 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 50 cm. debiéndose acomodar al 95% (mínimo) de su densidad relativa (Dr) determinada con la Norma NOM C-164 (por impacto), cumplir con un valor relativo de soporte (VRS) de 20% (mínimo).
 - El material que pase la malla 40 deberá cumplir con lo siguiente:

Concepto	Porcentaje
límite líquido	20% (máximo)
límite plástico	7% (máximo)
equivalente de arena	70% (máximo)

Tabla 16. Características del material de relleno

- Alcanzada la sub rasante de desplante de pavimentos se realizarán todas las actividades referentes a la construcción de éstos.
 - Los rellenos que se coloquen cercanos a las instalaciones hidráulicas deberán ser tendidos con una humedad superior en 2% respecto a la óptima, y ser compactados en capas de 20 cm. al 85% respecto a la prueba citada siempre atendiendo a los criterios fijados por la DGCOH.
-

CAPÍTULO IV

OBRAS INDUCIDAS

Como parte de las obras inducidas que se tuvieron para este proyecto se encuentran tres principalmente, y a pesar de que no son de gran tamaño en comparación con la magnitud del proyecto, sí son muy importantes para el funcionamiento adecuado del puente así como para la realización adecuada del proceso constructivo de este proyecto. Y estas son:

❖ *Puente peatonal provisional.*

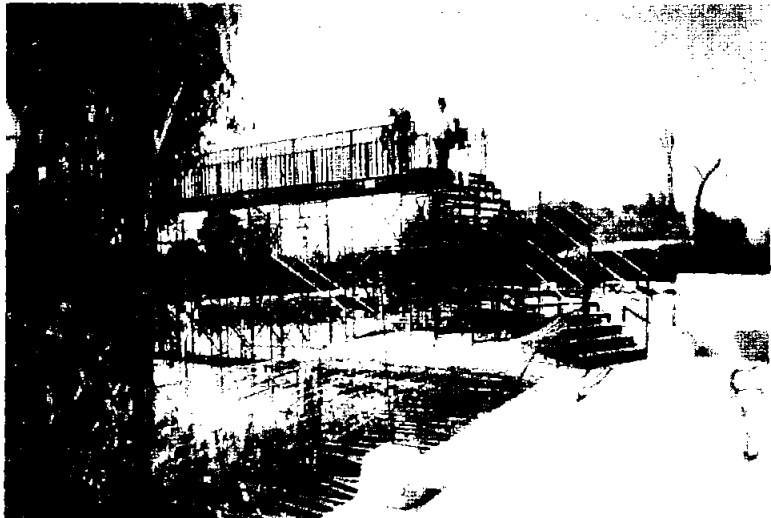
De las tres obras inducidas la más importante es la construcción del puente peatonal provisional, ya que existe una gran cantidad de peatones que llegan al lugar provenientes en su mayoría del norte de la ciudad en transporte público hasta el entronque de Av. Cafetales y Av. de los Tenorios con el Anillo Periférico, para cruzar el anillo periférico hacia sus domicilios ubicados en colonias aledañas a la localización del puente vehicular. Otro gran número de personas que transitan por la zona son los que vienen en transporte público sobre el anillo periférico en ambas direcciones (oriente-poniente y poniente-oriente) y que llegan hasta el lugar del proyecto para que de ahí crucen caminando hacia sus domicilios.

Por lo anterior se tuvo que hacer con suma rapidez el puente peatonal provisional ya que el número de usuarios que requerían de esta obra son

muchos. Y en las siguientes imágenes (fotografías 19a y 19b) podemos apreciar a los usuarios haciendo uso del puente provisional.



Fotografía 19a. Puente peatonal provisional



Fotografía 19b. Puente peatonal provisional

En el plano siguiente se muestra la geometría de este puente peatonal y su localización con respecto al puente vehicular.

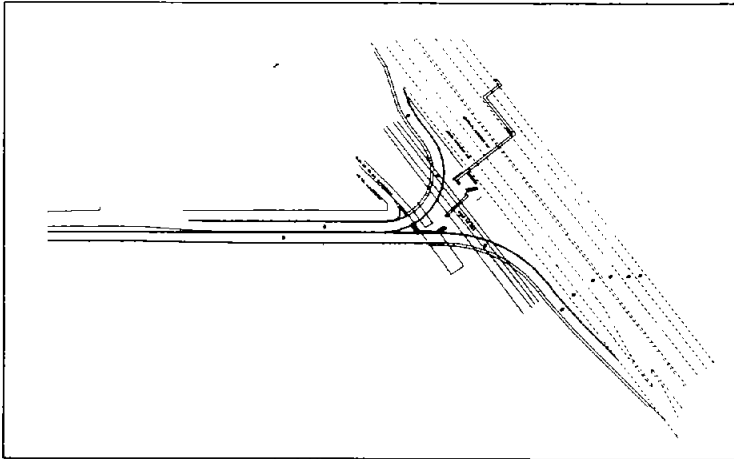
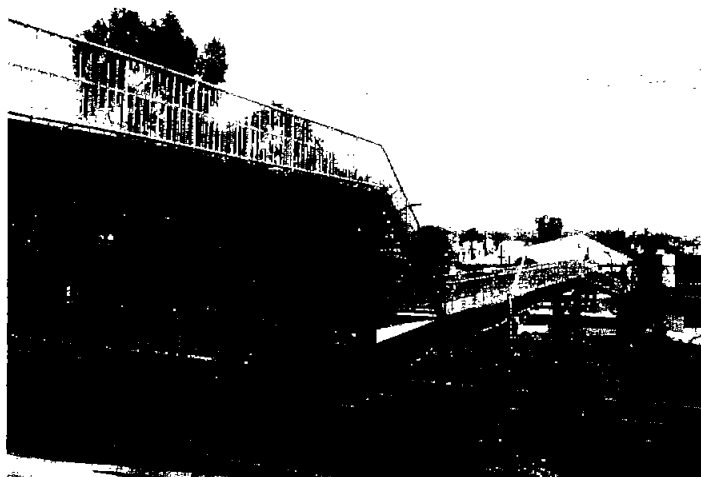


Figura 3. Localización y geometría del puente peatonal

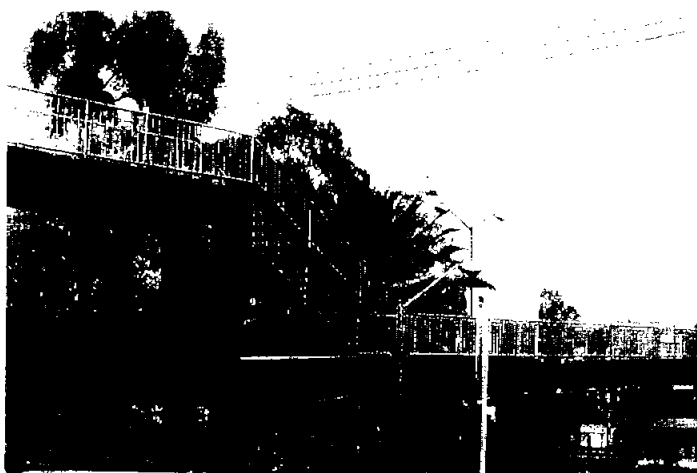
Como podemos ver en el plano anterior se muestra exactamente la localización del puente peatonal definitivo así como la dirección de las escaleras de éste.

Es importante mencionar que este puente peatonal definitivo se construyó bajo las normas de construcción establecidas en el Reglamento de Construcción del Distrito Federal. Cumpliendo las especificaciones de altura libre a nivel de piso, altura de barandal, ancho del puente, etc. Y en la siguiente fotografía se presenta una panorámica general de la geometría del puente peatonal definitivo.



Fotografía 20. Panorámica general del puente peatonal.

Sin embargo debido a estas especificaciones se tuvo que hacer una ampliación de la altura del puente peatonal para que se pudiera cumplir con la altura mínima necesaria. En la fotografía que se muestra a continuación se puede observar con claridad esta ampliación de altura.



Fotografía 21. Ampliación de altura del puente peatonal.

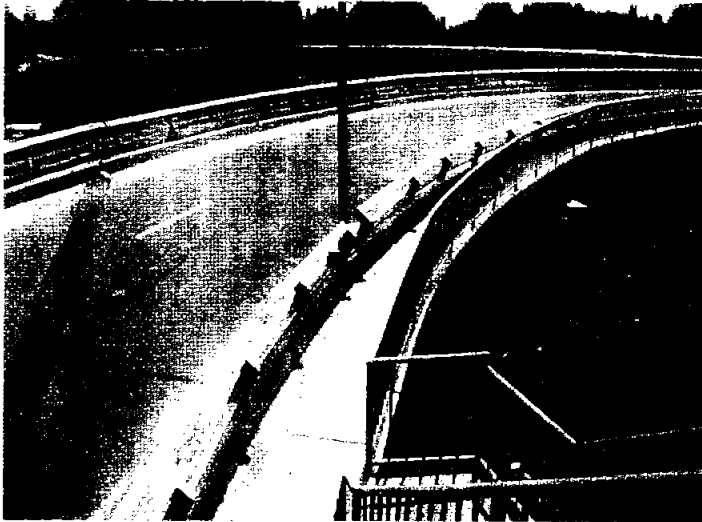
Cabe mencionar que dicha prolongación de altura del puente peatonal requirió de la construcción de una estructura de concreto que sirviera como columna de apoyo para poder soportar los apoyos del puente peatonal. Y esta imagen la podemos observar en la fotografía 22.



Fotografía 22. Columnas de soporte del puente peatonal.

Otra característica importante sobre este puente peatonal es que se hizo un entronque del puente peatonal con el puente vehicular, ya que el puente vehicular presenta en su lateral de la gaza con dirección sur, una guarnición por la que puede circular caminando los peatones a lo largo de esta gaza.

En la fotografía 23, se muestra este entronque entre los puentes así como parte de de la guarnición del puente vehicular



Fotografía 23. Entronque del puente peatonal con el puente vehicular.

❖ *Alumbrado provisional.*

Esta fue otra obra de gran importancia ya que la mayor parte del tiempo de trabajos de construcción del puente vehicular se realizaron por la noche para no interrumpir y afectar la vialidad que circula por la zona, además de que por la noche el número de transeúntes que pasan por la zona del proyecto es menor y con ello se evitaba que los trabajos de construcción del puente se interrumpieran.

❖ *Reubicación y protección de las tuberías de gas y agua potable.*

Debido a que durante las excavaciones en la lateral del Anillo periférico en dirección poniente oriente se encontró que pasaba por ese lugar un gasoducto de la empresa Metrogas, por el que se distribuye a las zonas y colonias aledañas gas natural, y dicha tubería se encuentra a muy poca profundidad, se tuvieron que tomar algunas medidas de protección para no causar daños a esta tubería ya que su reubicación que si bien no era tan costosa, sí involucraría un retraso excesivo de el avance de obra del proyecto del puente vehicular ya que se necesitaba parar por completo la obra en ese tramo para que pudieran entrar a trabajar los operarios y maquinaria de la empresa Metrogas para hacer dicha reubicación, sin embargo esto debido a que se

trataba de una empresa que cuenta con poca mano de obra se tenía que esperar después de los tramites administrativos pertinentes que desplazaran a sus operarios al sitio de trabajo para realizar esta obra.

Por todo lo anterior se tomo como medida de solución el construir unos cajones con una losa de protección. Y el espacio libre rellenarlo con arena para darle consolidación a la tubería. Cabe mencionar que estos cajones de protección solo se construyeron en las zonas cercanas a la cimentación del puente para reducir los costos de esta obra.

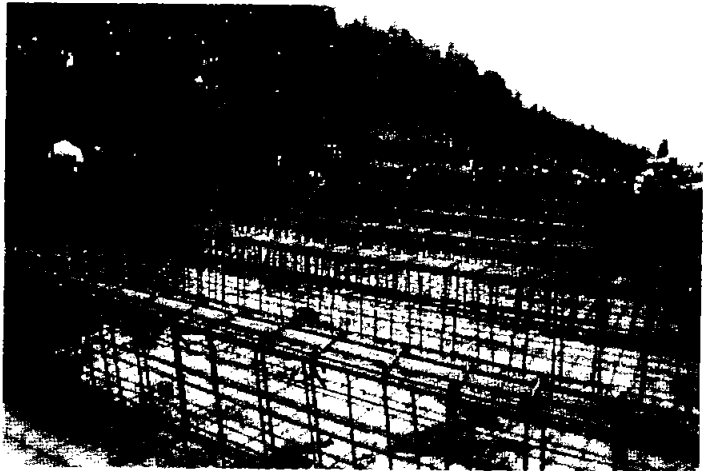
CAPÍTULO V

PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA Y ESTRUCTURA.

Para salvar el desnivel entre el puente y el nivel de la vialidad sobre la calle Plan de Muyuguarda, se ha proyectado la construcción de un cajón de concreto (aireplén), constituido por losa de fondo, muros y losa tapa; en ambos casos las losas incluyen contratrabes. El aireplén presentará un nivel de desplante variable, ubicado entre 1.2 y 2 m de profundidad respecto al nivel de la vialidad actual.

- *Construcción del aireplén*
 - Una vez que se tenga en condiciones la capa de tezontle y verificados los niveles de desplante de proyecto, se colocará una plantilla de concreto pobre ($f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$) de 5 cm. de espesor que cubra únicamente el área de desplante de la estructura. Sobre esta plantilla se realizarán los trabajos inherentes al armado y colado de la losa de fondo del aireplén.
 - Sobre la plantilla se colará la losa de fondo del aireplén, debiendo dejar las preparaciones necesarias para la liga con los tramos subsecuentes. El colado de la losa para cada tramo se realizará en una sola etapa e incluirá los muros laterales hasta el nivel de terreno natural.
-

En la siguiente fotografía se puede observar la preparación del armado de la losa de fondo y traveses del aireplén.



Fotografía 24. Armado de la losa de fondo y traveses del aireplén.

- En las juntas de colado entre tramos deberán colocarse bandas ovaladas de PVC de 6" (mínimo). Estas bandas ovaladas serán colocadas en la losa de fondo y muros hasta en nivel de terreno natural.
- Descimbrados los muros se colocará el relleno exterior, de ser necesario se apuntalarán por la parte interior.
- Al inicio del aireplén, se preverá la construcción de una losa de aproximación entre esta estructura y el pavimento a nivel de terreno. Esta losa se extenderá en el pavimento y sustituirá la capa de base en ese tramo.

En la fotografía 25, podemos ver claramente esta losa de aproximación.



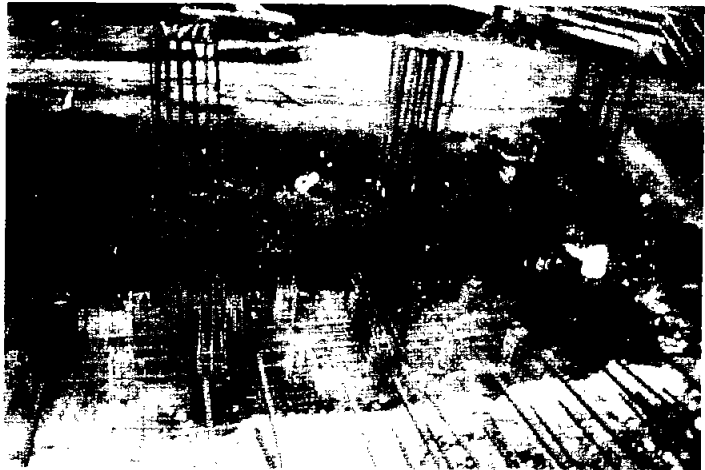
Fotografía 25. Losa de aproximación a la zona del aireplén.

- El tramo de excavación continuo se iniciará hasta concluir el colado de la losa de fondo, muros del aireplén al nivel de terreno natural y haya sido colocado el relleno exterior.

 - *Construcción en apoyos centrales y estribos*
 - Una vez que se tenga el área de la zapata excavada en su totalidad, y al nivel de desplante de proyecto, se colocará una plantilla de concreto pobre ($f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$) de 5 cm. de espesor que cubra únicamente el área de la zapata.
 - Cumplidos los puntos anteriores se procederá a la demolición o descabece de los pilotes en una longitud de acuerdo a la posición de cada uno, atendiendo a la profundidad de desplante de la zapata. La longitud mínima de descabece será de 80 cm. Tal condición deberá ser considerada desde la fabricación e hincado de los pilotes.
 - La demolición se realizara mediante martillos rompedores, cuñas o alguna herramienta similar que no genere fisuras en el cuerpo del pilote.
-
-

- Los fragmentos de concreto así como los materiales ajenos a la cimentación deberán ser retirados en su totalidad.
- Las zapatas a que se ligarán los pilotes de los apoyos centrales se construirán de manera análoga a la descrita, pudiendo omitir la capa de tezontle.

A continuación se presenta el proceso de armado de las zapatas.



Fotografía 26. Armado de las zapatas en la zona del aireplén.

- El colado de las zapatas se realizará en forma monolítica con el fin de eliminar las juntas, por lo que deberá preverse la cantidad de concreto por cada elemento, ya que por ningún motivo se suspenderá el colado una vez que de inicio.

En la siguiente imagen se presenta parte del procedimiento del colado de zapatas.



Fotografía 27. Colado de zapatas.

- *Concretos.*

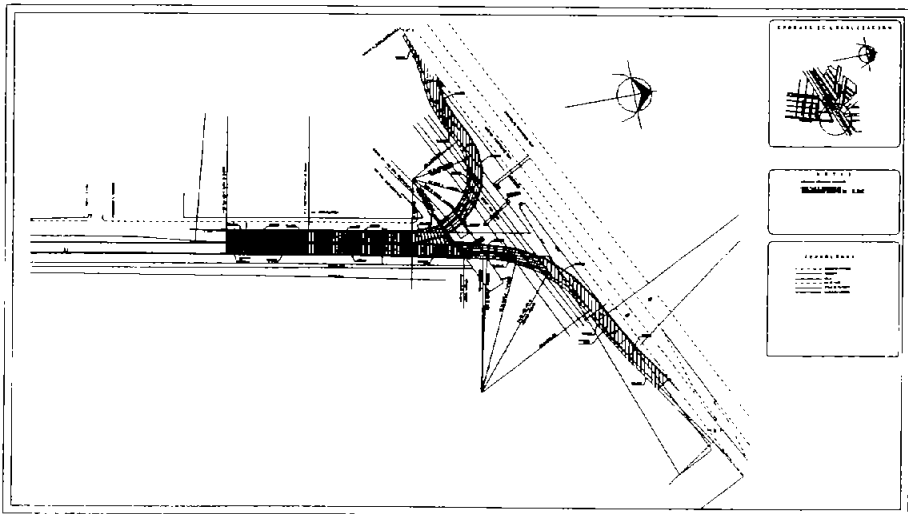
- Los elementos constituyentes del concreto no deberán deteriorarse ni modificar sus propiedades con el tiempo y bajo las condiciones a que estarán sujetos, es decir, deberán ser compatibles entre ellos y resistentes al medio que los rodeará (agua con alto contenido de sales).
- Los agregados gruesos del concreto deberán tener el tamaño adecuado para que estos se introduzcan fácilmente entre el armado de los elementos que formarán los cajones (ver planos estructurales).
- El concreto utilizado en el cajón del aireplén, deberá ser colocado y vibrado, incluso contener de manera integral aditivos impermeabilizantes y fluidificante, de tal forma que se garantice la no existencia de conductos generados por aire, o cualquier discontinuidad por efecto de la segregación.
- En el aireplén el área de contacto entre concretos de diferentes edades (junta fría) deberá presentar un acabado rugoso, se humedecerá por un plazo de 24 hrs. previas al colado y se aplicará un aditivo para unir concretos de diferentes edades.
- El fraguado del concreto se controlará con un método tal que asegure la no generación de grietas, fisuras, etc., pudiéndose obtener mediante un adecuado curado a base de películas o aditivos.
- Durante los trabajos de excavación y construcción de las

cimentaciones, deberá preverse un sistema de bombeo de achique con las características necesarias par afrontar cualquier eventualidad probable.

- Estas especificaciones se complementan con los planos topográficos, estructurales, arquitectónicos, de instalaciones y de proyecto geométrico, así como con las Normas Generales de Construcción del DDF.

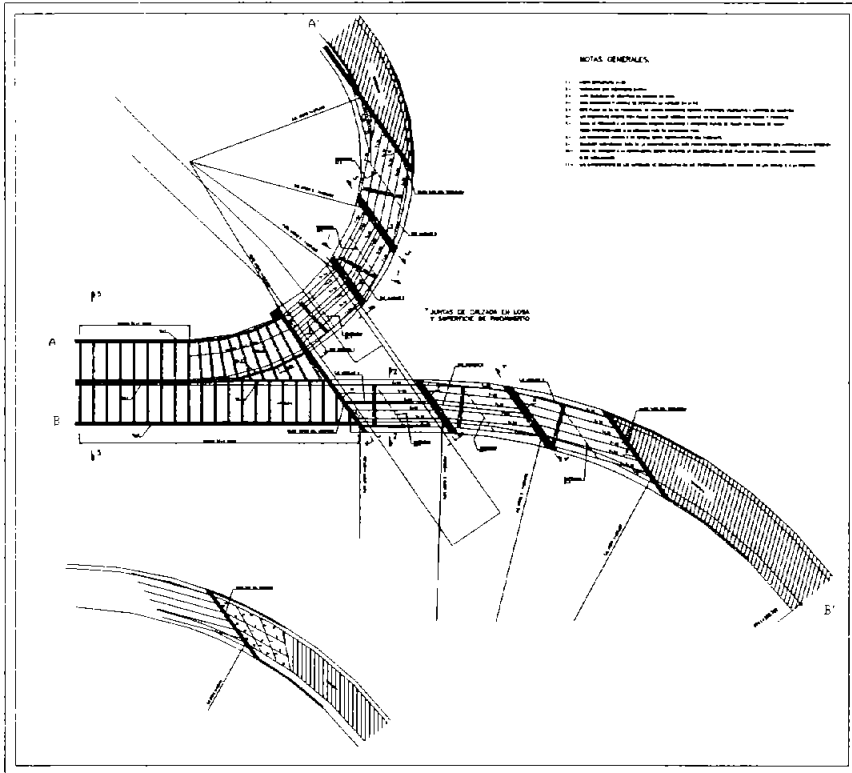
A continuación se presenta una serie de planos estructurales en los cuales se dan las especificaciones para la construcción del aireplén.

En el plano 2. Se muestra las zonas del puente, como son: las rampas de aproximación, el área del aireplén, etc.



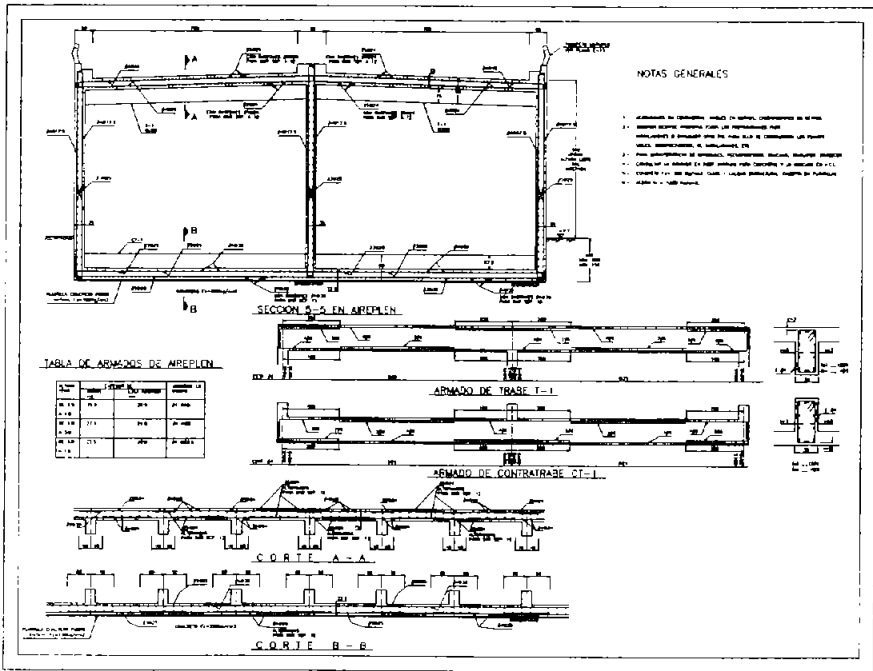
Plano 2. Planta de las zonas del puente.

Ahora se presenta una planta de la estructura metálica y la zona del puente adyacente.



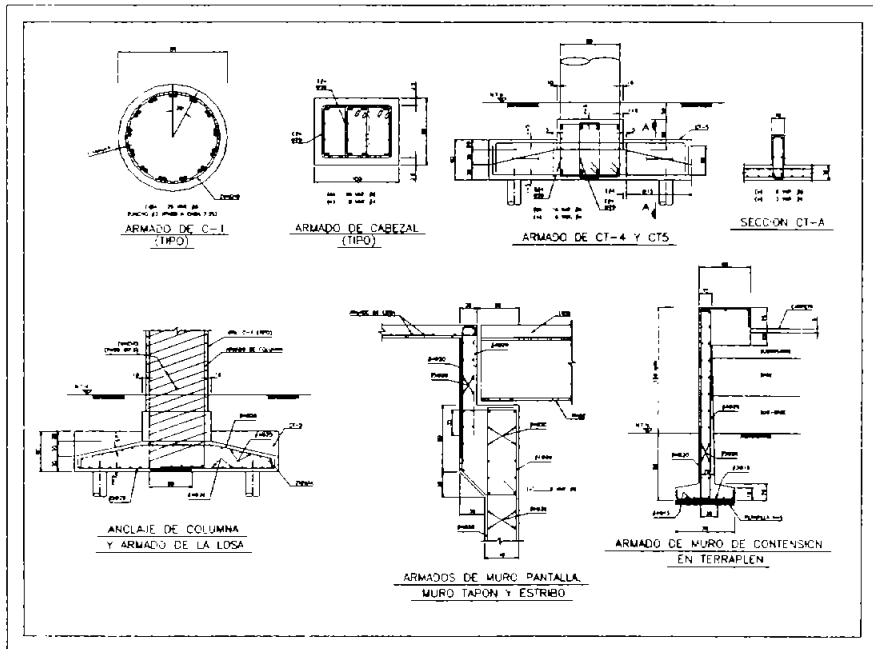
Plano 3. Planta de la estructura metálica y zona del puente adyacente.

En el siguiente plano se muestra el armado del aireplén.

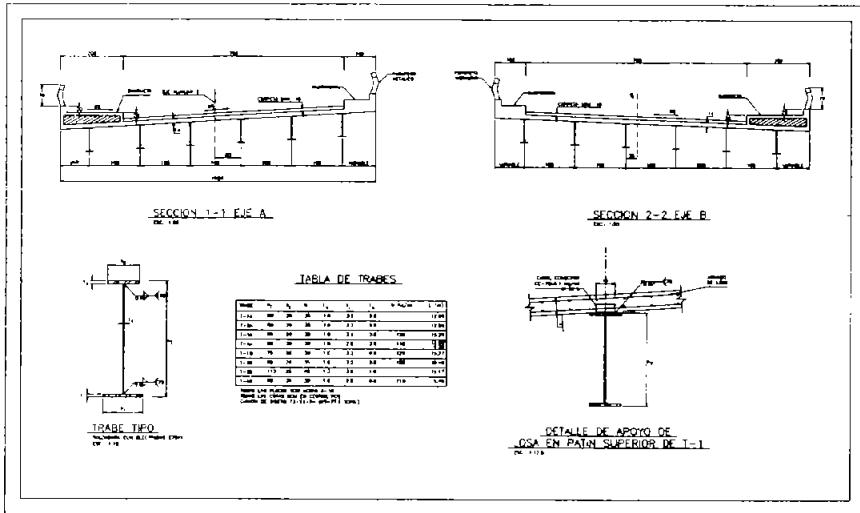


Plano 4. Armado del aireplén.

En los siguientes dos planos (5a y 5b) se muestran una serie de detalles que se establecieron para la estructura metálica.

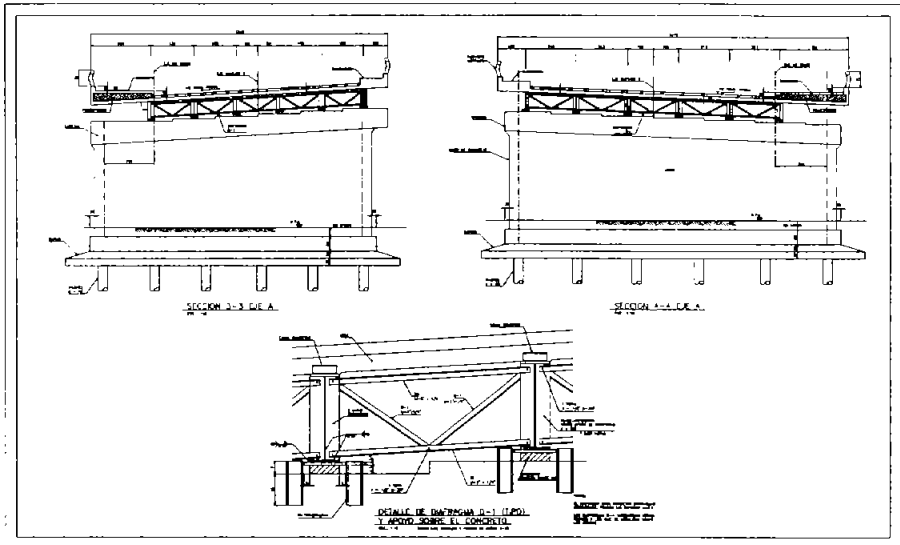


Plano 5a. Cortes y detalles del puente



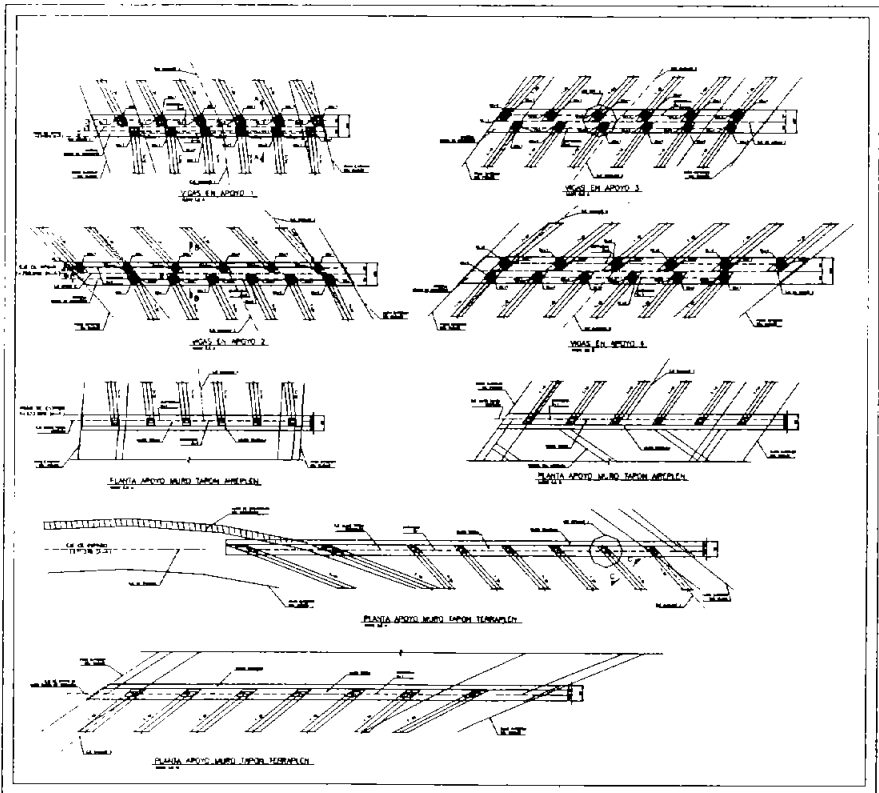
Plano 5b. Cortes y detalles del puente

En seguida se muestra el plano donde se observa las especificaciones para los diafragmas sobre los apoyos de concreto e intermedios.

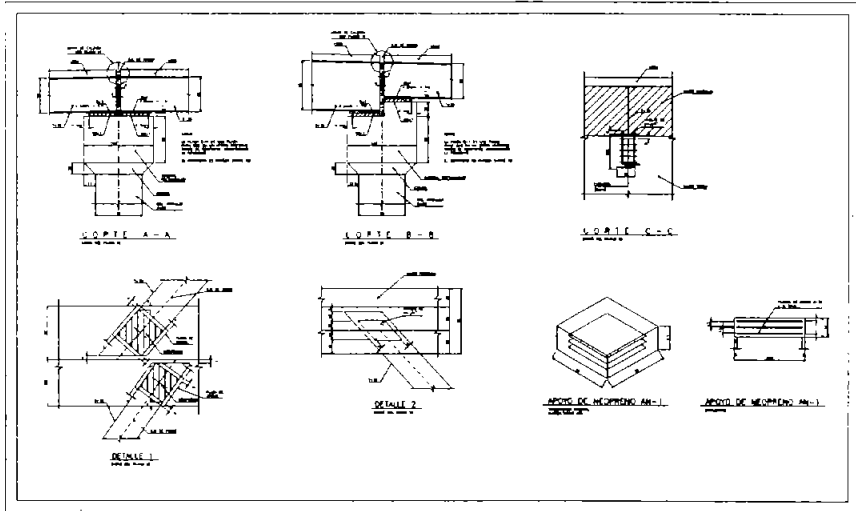


Plano 6. Diafragmas sobre los apoyos de concreto e intermedios

Finalmente en los dos planos siguientes se muestra las especificaciones estructurales requeridas para el apoyo de las traveses y los detalles de apoyos de estas traveses respectivamente.



Plano 7. Apoyos de las traves.



Plano 8. Detalles de los apoyos de las traves.

CAPÍTULO VI

OBRAS EXTERIORES Y COMPLEMENTARIAS.

Entre las obras exteriores y complementarias de este proyecto se pueden contemplar tres que son: pavimentos, construcción del parapeto, alumbrado público y señalamientos definitivos.

VI. 1. *PAVIMENTOS*

Las especificaciones siguientes rigen el procedimiento constructivo para la formación de terracerías y de la estructura del pavimento entre la vialidad y el puente, así como la restitución de pavimentos dañados y que sean coincidentes con la obra. La estructura del pavimento constará de terraplén aligerado, sub-base, base y carpeta asfáltica. Los niveles de rasante deberán atender al proyecto geométrico.

- *Preparación y formación de terraplén aligerado*

Para satisfacer la rasante de proyecto se construirán rampas de acceso, utilizando materiales inertes, ligeros (tezontle), siempre que su altura no exceda a 1.2 m sobre el nivel de terreno natural. Adicionalmente, junto al Aireplén, el terraplén aligerado se desplantará a la misma profundidad que esta estructura (1.2 m) y disminuirá hasta coincidir con el espesor de los pavimentos de la vialidad.

Previo a la colocación del tezontle, se retirará cualquier material que pueda

ser nocivo al comportamiento del pavimento, como materia orgánica, rellenos no controlados, con excesiva humedad, consistencia blanda y fragmentos sueltos, sustituyéndolos por el mismo tezontle.

En la siguiente imagen se observa parte del proceso de construcción de las rampas de aproximación.



Fotografía 28. Construcción de las rampas de aproximación.

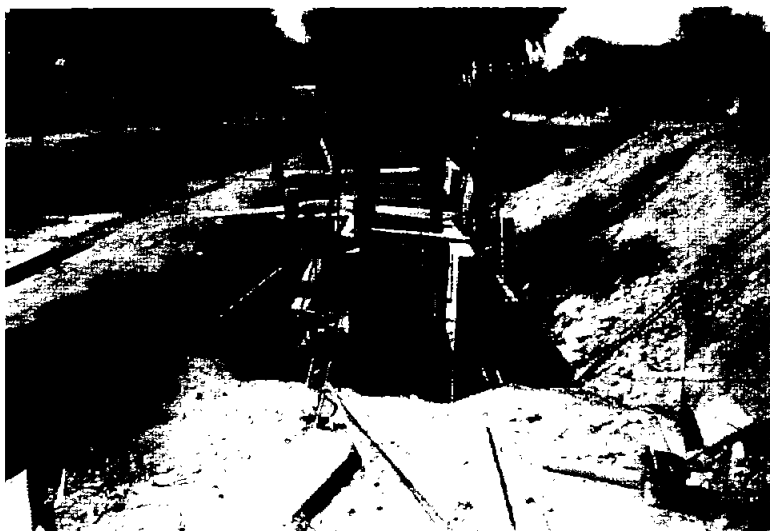
Sobre el terraplén se colocará la capa de sub-base, por tanto, el relleno aligerado constituirá la sub-rasante del pavimento y deberá presentar un espesor no menor a 30 cm.

Las características del material y su colocación se consignan a continuación:

- El tezontle por colocar no deberá contener más del 30 % de fragmentos mayores a 4" y no más del 5% de fragmentos mayores de 8", no deberá contener partículas finas plásticas.
 - El tezontle se colocará en capas de espesor máximo 50 cm. debiéndose acomodar al 95 % (mínimo) de su densidad relativa (D_r), determinada con la Norma NOM C-164 (por impacto), cumplir con un valor relativo de soporte (VRS) de 20 % (mínimo). Este acomodo se realizará con equipo ligero para evitar rompimiento del tezontle.
-

- El relleno a nivel de desplante de la capa sub-rasante deberá presentar un aspecto cerrado, lográndose mediante una granulometría predominantemente arenosa; en el resto deberá mostrar una curva granulométrica bien graduada.

En esta capa se colocarán las instalaciones municipales, además de satisfacer los niveles y pendientes de proyecto con el fin de mantener constante el espesor del pavimento.



Fotografía 29. Colocación de las instalaciones municipales.

La conexión con los pavimentos existentes, deberá efectuarse en forma escalonada para cada capa que compone a la estructura. El ancho de los escalones será de al menos 30 cm.

- *Características del pavimento*

La estructura de pavimento estará formada por una capa de 20 cm. de material de sub-base, 20 cm. de base y una carpeta asfáltica de 10 cm.

➤ *Capa Sub-base*

Previo verificación y aceptación de la capa sub-rasante (terraplén aligerado) se construirá la capa de sub-base. Las características que debe cumplir se enlistan a continuación:

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD
Esesor	20 cm.
Compactación AASHTO modificada (T -180)	95% (mínimo)
Granulometría deseada	zona 2
Contenido de finos	25 % (máximo)
Valor relativo de soporte saturado (VRS)	50 (mínimo)
Equivalente de arena	20% (mínimo)
Valor cementante	3 kg/cm ²
Contenido de partículas iguales o mayores a 2"	50% (máximo)

Tabla 17. Características de la capa sub-base.

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

CONCEPTO	PORCENTAJE
Límite líquido	30% (máximo)
Índice plástico	6% (máximo)
Contracción lineal	4% (máximo)

Tabla 18. Propiedades índice de la Capa sub-base

La sub-base se formará con al menos 2 capas, cuyo espesor máximo de cualquiera de ellas será del 90% del total, con la finalidad de lograr una compactación uniforme.

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

CONCEPTO	PORCENTAJE
Nivel de la superficie	± 1 cm.
Pendiente transversal	± 0.5%
Profundidad de depresiones con regla de 3 m	± 1.50 cm.
Espesor	± 10%

Tabla 18. Especificaciones de la Capa sub-base

Se aceptará en la compactación una variación de - 2% en el 20% de las calas volumétricas, siempre que el grado de compactación promedio sea mayor que el especificado. Se sugiere realizar 1 cala volumétrica por cada 100 m³ de material colocado.

➤ *Capa de Base*

Habiendo cumplido la capa de sub-base con las especificaciones anteriores, se construirá la capa de base, con las siguientes características:

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD
Espesor	15 cm.
Compactación AASHTO modificada (T-180)	100 (mínimo)
Granulometría descada	zona 1
Contenido de finos	10 % (máximo)
Valor relativo de soporte saturado (VRS)	100 (mínimo)
Equivalente de arena	40 (mínimo)
Valor cementante	3 kg/cm ²
Tamaño máximo del agregado	1 1/2

Tabla 19. Características de la capa base.

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

CONCEPTO	PORCENTAJE
Límite líquido	30% (máximo)
Índice plástico	6% (máximo)
Contracción lineal	3.5% (máximo)

Tabla 20. Propiedades índice de la Capa base

La base se formará con al menos dos capas, cuyo espesor máximo de cualquiera de ellas será del 60% del espesor de la capa y compactarse con rodillo liso vibratorio.

A continuación se muestra parte del procedimiento de colación de la capa base.



Fotografía 30. Colocación de la capa base.

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

CONCEPTO	PORCENTAJE
Nivel de la superficie	± 1 cm.
Pendiente transversal	$\pm 0.5\%$
Profundidad de depresiones con regla de 3 m	± 1.00 cm.
Espesor	$\pm 6\%$

Tabla 21. Características de la capa base

Se aceptará en la compactación una variación de - 2% en el 20% de las calas volumétricas, siempre que el grado de compactación promedio sea mayor que el especificado. Se sugiere realizar 1 cala volumétrica por cada 100 m³ de material colocado.

Las losas de aproximación provenientes del Aireplén o estribos, ocuparán el espesor de esta capa.

➤ *Riego de impregnación*

Una vez que la capa de base haya cumplido con las especificaciones, sobre la base seca, libre de polvo y partículas sueltas, se aplicará un riego de impregnación en base a producto asfáltico tipo RM-2K, el riego deberá cumplir con las características siguientes:

CONCEPTO	CANTIDAD
Relación producto asfáltico/área	0.7 a 1.2 l/m ²
Temperatura de aplicación	50°C
Penetración	3 mm. (mínimo)
Absorción total	24 hrs. (máximo)

Tabla 22. Características del riego de impregnación

El riego se aplicará durante las horas más calurosas del día. En caso de existir acumulación excesiva de asfalto, deberá retirarse el exceso mediante cepillos. La base impregnada se cerrará a cualquier actividad por un plazo de 48 hrs. (mínimo). En caso de existir posibilidades de lluvia, el riego se pospondrá.

➤ *Riego de liga*

Transcurridas 48 hrs. (mínimo) de aplicado el riego de impregnación y 30 minutos antes de la colocación de la mezcla asfáltica, se aplicará el riego de liga.

No deberá existir la posibilidad de lluvia durante la aplicación del riego y mezcla asfáltica, manteniendo en todo momento la superficie de aplicación limpia y seca.

El riego de liga se realizará con una emulsión catiónica de rompimiento rápido RR-2K, con las características que se expresan en la tabla anterior, con una proporción de 0.70 l/m² y penetración de 2 mm. (mínimo).

En caso de existir acumulación excesiva de material, deberá retirarse el exceso mediante cepillos.

Se destaca que el riego de liga se aplicará sobre las losas de aproximación y sobre toda la superficie del puente, previo relleno de las fisuras existentes con el mismo riego.



Fotografía 31. Colocación del riego de liga sobre la losa de aproximación.

➤ Carpeta asfáltica

Transcurridos 30 minutos (máximo) a la aplicación del riego de liga se formará una carpeta asfáltica, mediante el tendido y compactado de mezcla elaborada en caliente, en una planta estacionaria, utilizando cemento asfáltico.

La carpeta deberá cumplir con las características siguientes:

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD
Espesor en pavimento	10 cm.
Espesor sobre puente	5 cm.
Compactación Marshall	95 % (mínimo)
Temperatura de colocación	110 - 120 °C
Temperatura de terminado	70°C
Permeabilidad	6 % (máximo)
Absorción total	24 hrs. (máximo)

Tabla 23. Características de la carpeta asfáltica

No deberá tenderse mezcla asfáltica sobre la superficie húmeda o cuando existan posibilidades de lluvia durante el proceso de colocación y compactación. Las características del material pétreo, mezcla asfáltica y cemento asfáltico deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

A continuación se muestra parte de este procedimiento.



Fotografía 32. Colocación de la mezcla asfáltica

▪ *Material Pétreo*

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD
Granulometría preferente	Zona I
Tamaño máximo	1"
Contracción lineal	2 % (máximo)
Desgaste	40 % (máximo)
Absorción	7 % (máximo)
Partículas de forma alargada	35%
Contenido de finos	4%
Equivalente de arena	55 % (máximo)

Tabla 24. Características del material pétreo

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

CONCEPTO	CANTIDAD
Desprendimiento de asfalto por fricción	25 % (máximo)
Cubrimiento con asfalto	90 % (mínimo)
Pérdida de estabilidad por inmersión en el agua	25 %

Tabla 25. Características de granulometría del material pétreo

▪ Mezcla asfáltica

Deberá cumplir con los siguientes requisitos, de acuerdo al procedimiento Marshall.

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD
Número de golpes por cara	75
Estabilidad	900 kg. (mínimo)
Flujo	4 mm. (máximo)
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) respecto al volumen del espécimen de mezcla	13 % (mínimo)
Porcentaje de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen	3 - 5 %

Tabla 26. Características de la mezcla asfáltica

▪ Cemento asfáltico

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD
Tipo	No 6 o similar
Penetración	100 g. 5s. 25 °C. 90 - 100 °C
Viscosidad Saybolt-furoi (135_C)	85 (mínimo)
Inflamación (Cleveland)	230 °C (mínimo)
Reblandecimiento	50°C
Solubilidad en tetracloruro de carbono	99.50 % (mínimo)
Ductibilidad	25 - 100 cm

Tabla 27. Características del cemento asfáltico

▪ Prueba de la película delgada, 50 cm³, 5 h, 163°C

Las juntas de construcción transversales deberán recortarse aproximadamente a 45°, antes de iniciar el siguiente tendido y también deberán ligarse cemento asfáltico o con un material de fraguado rápido, antes de proceder al tendido de la siguiente franja.

La junta entre las carpetas (vialidad y puente) deberá realizarse previo retiro de partículas sueltas y flojas que muestren éstas, así como un riego de liga en la pared vertical entre ambas.

Para dar por terminada la construcción de la carpeta, se verificará el alineamiento, el perfil, la sección, la compactación, el acabado y el espesor, de acuerdo a proyecto.

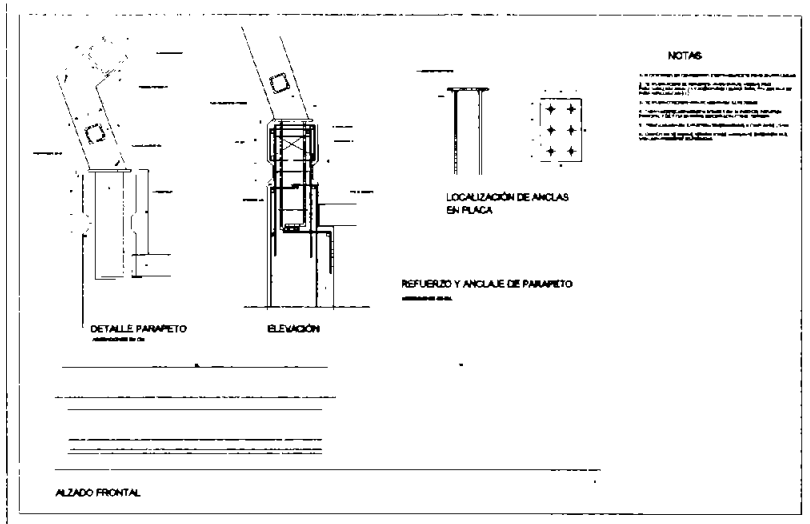
➤ *Riego de sello*

Una vez verificadas y cumplidas las características de la carpeta es recomendable aplicar un riego de sello sobre esta para impermeabilizarla. El riego se realizará con lechada de cemento-agua en proporción de lechada/área de 0.80 l/m^2 .

En caso de que la estructura de pavimento y la existente presenten espesores diferentes, se deberá considerar una zona de transición con una longitud de 3 m (mínimo). La junta entre las carpetas (vialidad antigua y la de ampliación) deberá realizarse previo retiro de partículas sueltas y flojas que muestren estas, así como un riego de liga en la pared vertical entre ambas.

VI.2. CONSTRUCCIÓN DEL PARAPETO.

Las especificaciones de construcción del parapeto se muestran en el plano siguiente. Cabe mencionar que este parapeto sufrió algunas modificaciones en cuanto a su diseño original, pero el diseño definitivo fue el que se muestra a continuación.



Plano 9. Parapeto

A continuación se muestra la realización física del parapeto.

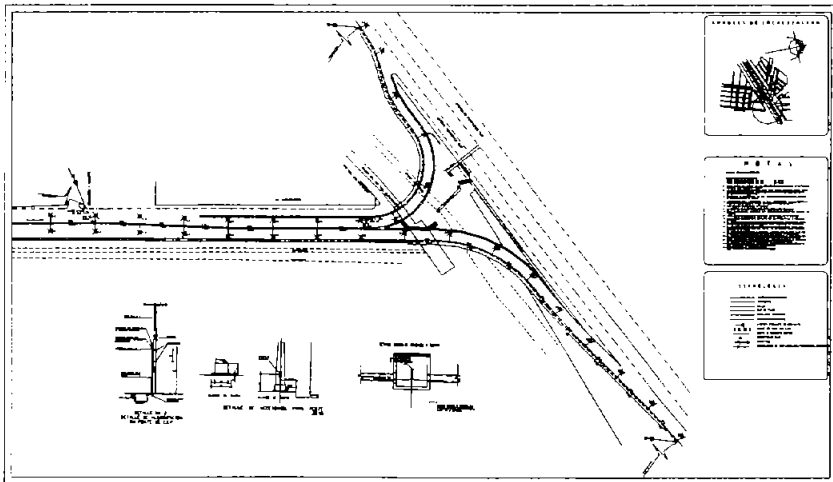


Fotografía 33. Colocación del parapeto.

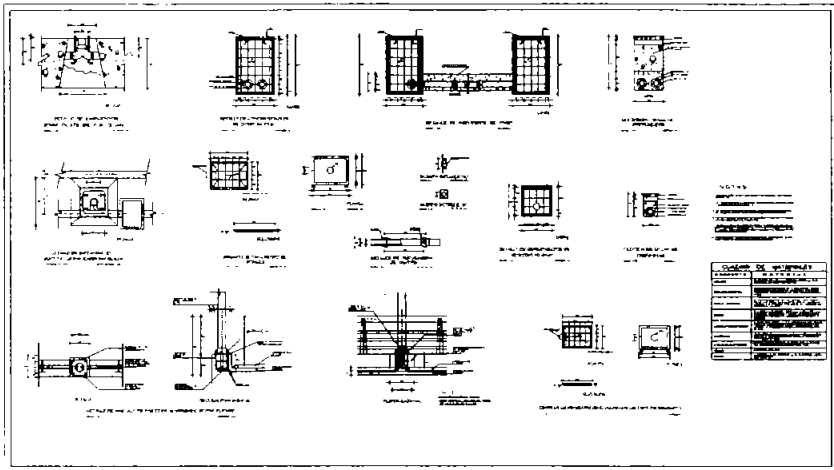
VI. 3. ALUMBRADO PÚBLICO

Las especificaciones de alumbrado público del proyecto del puente vehicular se muestran en los planos siguientes los cuales fueron realizados cumpliendo las especificaciones establecidas en el Reglamento de Construcción del Distrito federal.

Cabe mencionar que el primer plano a continuación es una planta del proyecto en donde se muestra la localización de los postes de alumbrado; y en el siguiente plano se describe a detalle las especificaciones para esta obra.



Plano 10. Alumbrado público.



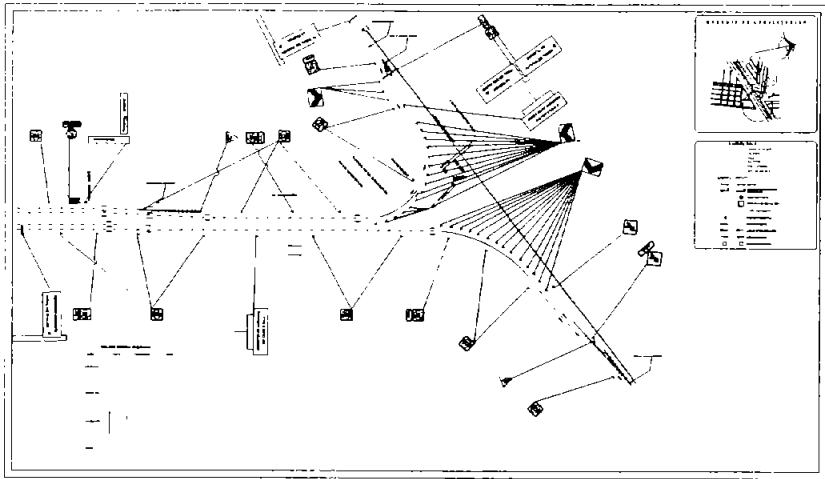
Plano 11. Detalles del alumbrado público

VI. 4. SEÑALAMIENTOS DEFINITIVOS

Es importante mencionar que con esta etapa se culminó la etapa de construcción de la obra y por ende se continuó con la etapa de operación y mantenimiento del puente.

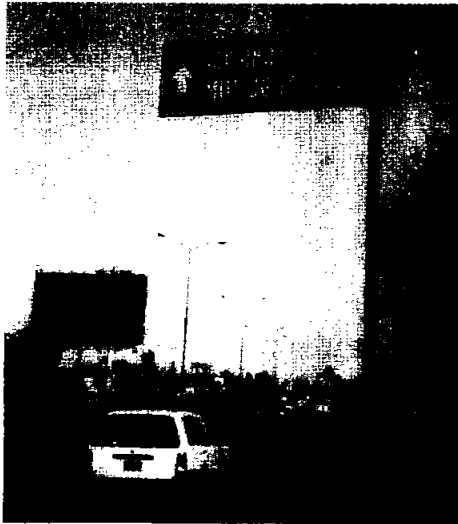
Dentro de esta etapa se puede considerar la colocación de todo tipo de señales de tránsito como son: señales preventivas, restrictivas, informativas y otras.

A continuación se presenta una planta del proyecto donde podemos observar la localización de estas señales dentro del puente y zonas cercanas al proyecto.



Plano 12. Dispositivos para el control de tránsito.

Finalmente en la siguiente fotografía podemos observar como quedo físicamente estos señalamientos.



Fotografía 34. Señalamientos viales.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES.

Con base en el análisis e interpretación de la información recopilada y junto con los resultados del estudio se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- a) El predio de interés se ubica en la Zona Geotécnica III. o de Lago, de acuerdo con las NTC para el diseño y construcción de cimentaciones del RCDF vigente.
 - b) La velocidad máxima del hundimiento regional en la zona es de 7 cm/año. Se destaca que la Serie Arcillosa Inferior contribuye con el 30 al 60%.
 - c) El periodo dominante de vibración del suelo es de aproximadamente 1.9 seg. con una aceleración máxima esperada en la superficie del terreno de 0.11 g.
 - d) El subsuelo del sitio se compone por: 1) Costra Superficial (de 0 a 5 m de profundidad), constituida por suelos arcillosos orgánicos, limos y arcillas arenosas endurecidos por secado, capas de arena y rellenos heterogéneos; 2) Serie Arcillosa Superior (de 5 a 34 m), formada por estratos predominantemente arcillosos de baja resistencia al corte y alta deformabilidad, que mejoran con la profundidad; se observan capas arenosas y limo arenosas duras, entre ellas las ubicadas a 15 y 30 m de profundidad; 3) Capa Dura (de 34 a 38.41 m), constituida principalmente por arenas gruesas y capas de arena fina, poco limosas, en estado
-

compacto; 4) Serie Arcillosa Inferior (de 38.41 m a 47 m), con características similares a la Serie Arcillosa Superior con horizontes de arena y mejores propiedades y 5) Depósitos profundos (más de 47 m), constituyen el basamento local con alta resistencia al corte.

- e) El NAF en la zona se ubica entre 1.2 y 2 m de profundidad.
- f) De acuerdo con las condiciones geotécnicas que prevalecen en la zona y las características del proyecto, se propone como cimentación para los apoyos del puente el empleo de pilotes de concreto, con sección cuadrada de 40 cm. por lado y desplantados en la capa areno limosa compacta a 15 m de profundidad. Los pilotes se ligarán estructuralmente a los apoyos del puente mediante zapatas. Para las estructuras de aproximación del puente, se construirán aireplenes, desplantados a una profundidad variable entre 1.2 y 2 m. Estas estructuras serán huecas y estancas, formados con losas, traveses y muros.
- g) La carga máxima neta aplicada por los pilotes al suelo, bajo cualquier condición de carga no debe exceder a la capacidad de carga admisible $Q_a = 40 \text{ t}$ Y $Q_a = 53 \text{ t}$, bajo condiciones permanentes y accidentales, respectivamente.

Durante la construcción de la cimentación es conveniente contar con un ingeniero especialista en cimentaciones con experiencia para garantizar la calidad de la obra y alcanzar los objetivos del proyecto.

- h) Los asentamientos esperados en la estructura serán del orden de 1 cm. durante la etapa constructiva y de 7 cm. a largo plazo por un proceso de consolidación.
- i) De acuerdo con las NTC para diseño por sismo del RCDF, deberá considerarse un coeficiente sísmico de $c=0.4$ para estructuras del grupo B, sin embargo, se recomienda aplicar un coeficiente sísmico de $c=0.45$ de acuerdo con las últimas investigaciones asociadas a la respuesta dinámica de los suelos del valle de México.
- j) La capacidad de carga establecida y la magnitud de las deformaciones establecidas, cumplen con los estados límite de falla y de servicio establecidos en las NTC del RCDF.
- k) Para la estructura del aireplén, el enterramiento parcial compensa totalmente la carga impuesta por la misma estructura.
- l) Durante la construcción del aireplén se esperan expansiones por la excavación y asentamientos por recompresión, con magnitud inferior a 5 cm.
- m) Las presiones horizontales sobre los muros parcialmente enterrados del aireplén, se ubican entre 1 y 2.8 t/m^2 .

- n) Con objeto de proteger a las colindancias del predio y evitar cualquier daño a las instalaciones locales o municipales, deberá realizarse un procedimiento constructivo cuidadoso. Para ello, se deberán tomar en cuenta las recomendaciones al proceso constructivo de la colocación de los pilotes, construcción de aireplén, excavaciones, colocación de rellenos, formación de terraplenes aligerados y construcción de pavimentos.
- o) Estas especificaciones se complementan con los planos de proyecto geométrico, topográficos, estructurales, arquitectónicos y todos aquellos documentos que tengan relación con el proyecto, así como las Normas Generales de Construcción del DDF y Normas de Construcción de Construcción e Instalaciones de SCT.

Como conclusión final se debe de cumplir con el mantenimiento mayor y menor de la obra una vez terminado el proceso constructivo de esta para que se mantenga en óptimas condiciones este puente vehicular, así como las obras complementarias relacionadas a él como pavimentos, construcción del parapeto, alumbrado público y señalamientos definitivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARNAL SIMÓN, Luis
BETANCURT SUÁREZ, Max
“REGLAMENTO DE CONSTRUCCION PARA EL DISTRITO FEDERAL”
Edit. Trillas.
1ª. Edición, México; 2001

 2. “PROPUESTA DE LAS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS DEL
REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL”.
México; 2001

 3. NORMAS DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
“PROYECTO DE PUENTES Y ESTRUCTURAS”
México; 2001

 4. JUÁREZ BADILLO, Eulalio
RICO RODRIGUEZ
“MECÁNICA DE SUELOS”, Tomo I
Edit. Limusa
4ª. Edición, México; 1991
-
-