



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CONSTRUCCION DEL METROPOLITANO
LINEA B TRAMO ELEVADO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
MARCO ANTONIO MILLAN HORITA

ASESOR: ING. MARCOS TREJO HERNANDEZ



MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

276794



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



TESIS DE LICENCIATURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
MILLÁN HORITA MARCO ANTONIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-042/98

Señor
MARCO ANTONIO MILLAN HORITA
Presentes

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

" CONSTRUCCION DEL METROPOLITANO LINEA B TRAMO ELEVADO"

- INTRODUCCION**
- I. ANTECEDENTES**
 - II. PRELIMINARES**
 - III. OBRA INDUCIDA**
 - IV. PILOTAJE**
 - V. OBRA CIVIL**
 - VI. FABRICACION Y MONTAJE DE TRABES**
 - VII. PROGRAMACION DE LA OBRA**
 - VIII. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN LA OBRA**
 - IX. SISTEMA DE INFORMACION (PROYECTO-SUPERVISION-CONSTRUCCION)**
 - X. 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
"PCR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitario a 19 de marzo de 1998.
EL DIRECTOR.


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*Imf

Dedicatorias

A la vida, por permitirme llegar hasta aquí

A mi Madre, por darme la vida.

Al destino, por darme a mi Madre.

Existen tantas personas de mi familia a las que quiero dedicar este trabajo, que trataré de no olvidar a nadie.

A mi madre, cuyo ejemplo de voluntad inquebrantable ha sido determinante para que yo haya llegado hoy hasta aquí, compartiendo con ella victorias y derrotas.

A mis hermanas Citlali y Yucari, que han llenado de alegría cada día de mi vida con su hermosa sonrisa, y con quienes he luchado hombro a hombro las batallas cotidianas.

A mi abuelo Vidal, porque sus palabras fueron siempre honestas y no duras.

A mi abuela Josefina, porque me ha enseñado el valor del trabajo y las cosas que valen la pena.

A mamá Haydée, papá Carlos, Carlitos, Paquito, Vikkie, Lupita y Mito, por enseñarme a disfrutar las cosas buenas de la vida y el valor de la familia. A mis sobrinos Ethan, Aidan y Ana Haydeé, por la gran felicidad que nos han traído.

A tío Amilcar, tía Lucy, Lucy, Amilcochar y Adri, por compartir conmigo el gran cariño que los une e inculcarme lo sencillo que es ser feliz.

A tío Heber, tía Mora, Dashita, Samy, Sheylita y Luis, por su apoyo incondicional en todo momento, y por ser ejemplo de perseverancia e iniciativa.

A tía Ketty, tío Raúl, Raulito, Ale y JM, porque sin su apoyo y consejo me hubiera sido muy difícil entender mi realidad y afrontarla.

A tío Beto, porque siempre ha estado pendiente de que no me salga del buen camino para poder llegar a ser un hombre de bien, con convicciones propias, como él.

A tía Chavy y Mamá Tana, por enseñarme que todo debe hacerse con dedicación y amor para vivir satisfecho y contento, sin importar lo que esté por venir.

A tío Daniel, tía Rebe, tío David, Dany, Juanito y Karlis, por haberme dado un enfoque distinto de la vida a través de su apoyo, cariño y comprensión.

A la familia Osornio Soto (Sylvia y Oscar Papá), por su incondicional apoyo, los quiero.

A la familia Castilleja Cid, con mucho cariño.

A tío Arnulfo, tía Cielito, tía Maye, tío Carlitos, tío Héctor, tía Silveria, Ceci, Adrianita, Su-Lim, Mitsu y Hideki, por demostrarme la importancia del amor ante las adversidades.

A tío Olivio, por transmitirme su actitud ante la vida, y enseñarme que los años no nos alejan de la familia, sino que hacen más fuerte el lazo.

A mi abuela Raquel con especial cariño, y a mi abuelo Antonio con gran aprecio.

A tío Eliú, tía Licha, tío Licho, tía Trini, tío Mario, tía Baby, Juan Car, Marce, Gaby, Lichito, Amadita, y a todos mis demás tíos y primos tanto Millán como Horita, por estar ahí.

A Dios, por haberlos tenido bajo su cuidado.

No entiendo la amistad sin transparencia.

Sin transparencia no hay honestidad

Doy la vida por aquellos honestos,

en quienes hasta hoy he podido confiar.

Amigos, quiero que sepan que cada etapa en la que nos ha tocado estar juntos, ha dejado en mí una huella que de manera especial trato de aplicar a mi vida diaria. Dado que todos somos el reflejo de nuestro entorno, espero que yo realmente refleje como persona lo genial que ha sido convivir con ustedes.

A Oscar, Malco, Tatsuo, Gerardo, Nico, Héctor, Toño y Armando, por su incondicional apoyo, lo que me ha ayudado a salir adelante con la frente en alto en todo momento, pues no necesito voltear atrás para saber que están ahí, y eso me ha dado seguridad y certeza para conducirme por la vida. Los quiero.

A Hiram, Rubén y el Guero, por ayudarme a cuidar tan preciadas joyas, tarea nada fácil.

A Sebas, Eduardo, Roberto, Sota y Alvaro, con quienes inicié esta travesía y quienes cooperaron en gran medida a que no naufragara.

A Pops, Raúl, Manuel, Díaz, Marco, Oscar, Enrique, Hugo e Isaac, con quienes aprendí a dormir dos horas diarias y a estudiar 22 como si se tratara de algo normal.

A Alex y Chali, por su invaluable amistad y con un especial aprecio

A mis queridos socios, y antes que nada, amigos: Horacio, Ricky, José Manuel, Edita y Silvia; por su amistad, confianza y por las porras para dar este gran paso.

A Juan Jo, Kazuya, Manolo, Kenji, Juan Alvaro, Peyo, Héctor, Seishu, Tada, Eddie, Erick, Zentella...

A Cecilia, Shinobu, Hanako, Erika, Naomi...

y todos mis demás compañeros del Liceo con un especial cariño, pues están en mi memoria siempre.

A Sr. Alfredo Pasquel y a Leonardo, por inculcarme la dedicación y el amor al trabajo.

A Jareth, mi fiel compañero.

Agradecimientos

Ningún ave vuela lo suficientemente alto,

si vuela sólo con sus propias alas

William Blake

En el constante afán por ser mejores y lograr nuestras metas, siempre hay personas detrás de nosotros que de alguna u otra manera hacen posible que las cosas pasen. A ellos quiero agradecer .

A mi amigo, Ing. Marcos Trejo, porque me ha enseñado que el ser Ingeniero es un compromiso constante de mejora. Por tu gran ayuda y apoyo para la realización de este trabajo, gracias

Al Arq. Aurelio Ahumada, por transmitirme su gran calidad humana y por enseñarme a trabajar como se debe, con ética intachable, respeto, dedicación y alegría

A la UNAM y a todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería, quienes convencidos como yo de la calidad de la enseñanza en ésta nuestra escuela, me brindan ahora la oportunidad de demostrar nuestra capacidad a través de este logro. De manera especial quiero mencionar a los Ingenieros Saturnino Suárez, Roberto Carvajal, Pablo Torres, Luis Salmones, Hugo Hass, César Valdés, Fernando Olivera, Francisco Chacón y Jaime Torres H, quienes dejaron huella imborrable en mi formación.

A todos mis profesores del Liceo, porque su labor fue determinante para que pueda yo estar hoy aquí. De manera especial quiero mencionar a Pilar Alonso, Enrique Lemus, Tere Gómez, Juan López, Gabriel Leyva, Miguel Cortés, Sachi Yamamura, Chikako Saito y Hiromi Hara.

Al Ing. Luis Enrique Burgoa, por darme una nueva expectativa de desarrollo y por su sincera ayuda.

Al Ing. Felipe Martínez y al Arq. José Luis Albores, por haberme permitido continuar con mis estudios y con la elaboración de este trabajo. Por la confianza conferida, hoy respondo.

Al Ing. Juan Carlos Santos, al Ing. Fernando Palacios, al CP. José Luis Miranda y al Ing. Jesús Pantle; por su invaluable apoyo durante la fase final de este trabajo.

A mis compañeros de trabajo: René, Lourdes, Octavio, Goldaracena, Ernesto, Ledesma, Poncho, Gina, Oscar, José Luis, Nequiz, y a todos aquellos que de alguna u otra manera han contribuido a mi desarrollo como Ingeniero.

Al grupo ICA, por la experiencia que se me ha permitido acumular

TEMARIO O ÍNDICE DE TESIS
“CONSTRUCCIÓN DEL METROPOLITANO LÍNEA B”
TRAMO ELEVADO

INTRODUCCIÓN	01
CAPÍTULO 1 “ Antecedentes ”	03
1.1 Zona de influencia	05
1.2 Necesidades de la zona	09
1.3 Características generales del proyecto	10
1.4 La línea “B” como parte del Plan Maestro	14
1.5 Las soluciones constructivas para los tres tramos de la línea (subterráneo, elevado y superficial)	16
1.6 El tramo elevado.	19
CAPÍTULO 2 “ Preliminares “	22
2.1 Los bandeos viales y confinamientos (Planeación de etapas, vialidades coincidentes).	23
2.2 Los trabajos de demolición.	25
2.3 Determinación, ejecución y cobro de las actividades fuera de proyecto	26
2.4 Referencia de los trabajos al catálogo de Precios Unitarios.	29
CAPÍTULO 3 “ Obra Inducida “	31
3.1 Zonas de afectación.	32
3.2 Agua potable y agua tratada	33
3.2.1 Excavación y tendido de tubería	34
3.2.2 Seccionamiento	39
3.2.3 Pegues	41
3.2.4 Restablecimiento del servicio	42
3.3 Alcantarillado	43
3.3.1 Alteración del régimen hidráulico.	45
3.3.2 Extracción de colectores	45
3.4 Desvío de otro tipo de líneas e instalaciones	47
3.5 Referencia de los trabajos al catálogo de Precios Unitarios	48
CAPÍTULO 4 “ Pilotaje “	50
4.1 Aspectos fundamentales del estudio de Mecánica de Suelos	50
4.1.1 Perfil estratigráfico	51
4.1.2 Especificaciones	54
4.1.3 Recomendaciones	54
4.2 Prefabricación en planta	55
4.2.1 Especificaciones de diseño	55
4.2.2 Fabricación	58
4.2.3 Logística de la “puesta en obra”	61
4.3 Hincado	62
4.3.1 Procedimiento	64
4.3.2 Niveles según proyecto	65
4.4 Relación del cobro de los trabajos de pilotaje	66
4.5 Referencia de los trabajos al catálogo de Precios Unitarios	66

CAPÍTULO 5 “ Obra Civil “	68
5.1 Excavación	68
5.1.1 Procedimiento general	68
5.1.2 Maquinaria	69
5.1.3 Métodos de abatimiento del Nivel de Aguas Freáticas	69
5.1.4 Preparación del fondo de la excavación	70
5.1.5 Afine y protección de taludes.	71
5.1.6 Procedimientos especiales	72
5.1.6.1 Excavación con costaleras	72
5.1.6.2 Ductos Pemex	74
5.1.6.3 Planta de Bombeo	76
5.1.7 Referencia de los trabajos al catálogo de Precios Unitarios	77
5.2 Desplante de estructuras (acero, cimbra y concreto)	78
5.2.1 Secuencia Constructiva	78
5.2.1.1 Losa de fondo	79
5.2.1.2 Contratraves	80
5.2.1.3 Losa Tapa	82
5.2.1.4 Dados de soporte	82
5.2.1.5 Columnas y capiteles	83
5.2.2 Control del Nivel Freático durante la estructuración	87
5.2.3 Referencia de actividades al catálogo de Precios Unitarios.	87
5.3 Relleno de confinamiento y llenado de celdas	88
5.3.1 Elección de bancos de material autorizados	88
5.3.2 Estratificación del relleno según especificación	89
5.3.2.1 Tepetate	89
5.3.2.2 Tezontle	89
5.3.2.3 Grava Controlada (granulometría variada)	89
5.3.3 Utilización de geotextil en zona de vialidades (contención de finos)	91
5.3.4 Maquinaria	91
5.3.5 Especificaciones del agua para llenado de celdas	92
5.3.6 Referencia de actividades al catálogo de Precios Unitarios.	92
CAPÍTULO 6 “Fabricación y Montaje de Trabes “	94
6.1 Armado de Moldes	95
6.1.1 Molde para trabe de apoyo	95
6.1.2 Molde para trabe de conexión	95
6.2 Proceso de fabricación de trabes	96
6.2.1 Armado	97
6.2.2 Cimbra de cajones aligerante	98
6.2.3 Tensado	98
6.2.4 Colado y curado a vapor	99
6.2.5 Corte de torones	100
6.3 Sistema de extracción de pieza y montaje	100
6.3.1 Armado de marcos y preparación	100
6.3.2 Tendido y nivelación de balasto	102
6.3.3 Tendido y nivelación de vías	102
6.3.4 Extracción de la pieza y montaje	102
6.3.5 Traslado de molde a la posición siguiente	104
6.4 Particularidades de la trabe de apoyo	104
6.5 Particularidades de la trabe de conexión	105
6.6 Referencia de las actividades al catálogo de Precios Unitarios	106

CAPÍTULO 7 “ Programación de la Obra “	107
7 1 Programa general de obra	109
7 2 Programas detallados de obra	112
7 2.1 Subprogramas	112
7.2.1.1 Mano de obra	113
7.2.1.2 Maquinaria	113
7.2.1.3 Materiales	114
7.2.1.4 Egresos	114
7.2.1.5 Estimaciones	115
7 3 Apego a los programas iniciales	115
7 4 Reprogramación	116
7 4.1 Causas	116
7.4.2 Ajustes	116
CAPÍTULO 8 “ Aseguramiento de Calidad en la Obra “	118
8.1 Manual de calidad	120
8.2 Manual de procedimientos	121
8.3 Documentación asociada a los procesos	121
8.3.1 Responsables	123
8.3.2 Cédulas de aseguramiento	124
8.4 Laboratorios certificados (presencia permanente)	124
8.4.1 Acero	126
8.4.2 Concreto	128
8 4.3 Rellenos	129
8 4.4 Otros	131
CAPÍTULO 9 “ Sistema de Información (Proyecto – Supervisión – Construcción)”	133
9.1 Sistema de entrega de planos ejecutivos	135
9.2 Sistema de Supervisión (actividades principales)	137
9 3 Interrelación Obra – Proyecto	138
9.4 Soluciones boletinadas ante situaciones fuera de proyecto	139
CAPÍTULO 10 “ Conclusiones “	141
10.1 Beneficios de la construcción de la línea.	144
10.2 Innovaciones tecnológicas en cuanto a procedimiento constructivo	145
10.3 Consideraciones Finales	145
BIBLIOGRAFÍA	147

*Construcción del Metropolitano Línea B
Tramo Elevado*

INTRODUCCIÓN

La demanda actual de Ingenieros Civiles en nuestro país atiende a una evolución en los sistemas de trabajo empleados para el desarrollo de todo tipo de proyectos; desde la licitación de la obra pública como mecanismo regulador, hasta los proyectos llave en mano tan comunes en los últimos años. El hecho de que cada vez se requiera mayor especialización, es el resultado de una diversificación de las actividades dentro de un marco de mejora continua y optimización de recursos

El Ingeniero constructor poco a poco ha tenido que ir adquiriendo conocimientos adicionales como es la computación, para lidiar con los problemas de una manera distinta, en la que pueda aprovechar al máximo sus conocimientos sin que sea necesario un desgaste y una pérdida de tiempo. La experiencia de este tipo de Ingeniero, conocido también como Ingeniero de obra, es fundamental para sacar adelante la etapa de construcción; sin embargo, actualmente es necesario involucrarlos desde la etapa de planeación, ya que puede resultar sumamente benéfico el hecho de que con su participación se puedan prever posibles situaciones que generen algún sobrecosto, o que simplemente no se contemplen desde un enfoque plenamente técnico. Por otra parte, el Ingeniero proyectista también debe hacer lo propio, de tal manera que en la transición de un proyecto a otro, sea capaz de aplicar las denominadas lecciones aprendidas, reforzando así el proceso de mejora continua. La mejor manera de lograr estos beneficios, es propiciar la presencia de Ingenieros proyectistas en el sitio de la obra, pues ellos pueden ser el nexo entre la fase de planeación y la de construcción.

Es importante entender que la especialización no debe contraponerse a la versatilidad, un Ingeniero, dependiendo del giro principal de su actividad profesional, debe ser capaz de mantenerse abierto a todas las posibilidades ante una toma de decisiones, ya que si cada situación por solventar que se presente se intenta resolver por un solo medio, porque se trata de la especialidad, entonces se estaría perdiendo la capacidad de análisis, principio fundamental de la Ingeniería. Es aquí precisamente donde entra en juego el criterio interdisciplinario para la solución de problemas, que es el que mejores resultados arroja. La importancia de este criterio radica en poder entender que las diversas partes de un proceso deben trabajar en conjunto, basados en la convivencia y en el respeto a los conocimientos de los demás, bajo un esquema de autoridad, en el que la asesoría juega un papel fundamental.

En el presente trabajo, se destacan los aspectos positivos y negativos de la planeación que se siguió en el proyecto del Metropolitano Línea B, con el fin de adoptar algunas de las técnicas que se aplicaron en esta obra, para procesos de planeación futuros en lo que se refiere a logística dentro del entorno urbano. En el entendido de que cada obra es un caso particular y de que el fundamento teórico es el mismo, la diferencia radica en la forma en que se apliquen los conocimientos y la experiencia adquirida en proyectos anteriores. Los responsables de la

planeación, las variables involucradas, las condiciones adversas que generan atrasos, la interrelación con la supervisión y el cliente, y la toma de decisiones para la asignación de recursos, previo análisis de los programas, son algunos de los puntos más interesantes que aquí se abordan.

El objetivo de esta tesis es analizar a fondo el sistema de trabajo seguido para la construcción del tramo elevado de la Línea B, con el fin de poder identificar los pros y contras del mismo. También se podrá apreciar un enfoque funcional de lo que representa la organización técnico administrativa dentro de un proyecto, tanto para quienes la conforman, como para quienes la dirigen y para quienes la diseñan.

El hecho de concebir un proyecto requiere un entendimiento pleno de todo aquello que se refiere a procesos de construcción perfectamente estructurados, planeados, programados, económicos, integrales, flexibles, ordenados y operativamente eficientes; pues con esta tendencia podremos llegar a ser la mejor opción para el cliente, dentro de cualquier mercado en el que nos corresponda competir. Es por ello que a lo largo de este trabajo, cada capítulo se aborda yendo de lo general a lo particular, tratando de resaltar los aspectos en los que se debe poner especial atención en esta clase de procesos, y cada vez que se detecta algún detalle susceptible de ser analizado, se lleva a cabo conforme a una apreciación teórico-práctica, que es la que se nos ha fomentado durante toda la carrera, manteniendo siempre un enfoque ingenieril

El sistema de calidad implantado en la obra es uno de los principales matices que se manejan, dado que actualmente una de las tendencias en la industria de la construcción es precisamente la de instituir esquemas de operación basados en un manual de procedimientos previamente elaborado para el desarrollo de todas las actividades asociadas con el proceso, bajo lineamientos que atienden a normas oficiales o a requerimientos de un cliente en particular. La mayor ventaja de contar con una estructura de aseguramiento de calidad certificada es que nos pone por encima de la competencia que no cuenta con él en primera instancia, pues la confianza del cliente hacia nosotros se ve incrementada sustancialmente.

Durante toda la carrera pude darme cuenta de los distintos campos de acción que existen dentro de la Ingeniería Civil, y he tenido la oportunidad de vivir ya de manera directa dos de ellos: la construcción y la administración. Debo decir que la experiencia en obra ha dado respaldo a la administración que actualmente ejerzo, y estoy seguro de que la próxima actividad que desarrolle la llevaré a cabo de una manera más completa pues el acervo tanto de conocimientos como de experiencia se incrementa día a día y refuerza mi calidad como ingeniero.

El haber formado parte de este proyecto me permitió analizar a fondo algunos aspectos de interés tanto a nivel técnico como operativo, y realmente espero reflejarlos adecuadamente mediante el análisis desarrollado a través de este trabajo, bajo los principios básicos de economía, funcionalidad y oportunidad

CAPÍTULO 1 “ Antecedentes ”

Para garantizar la viabilidad urbana y ambiental de la Ciudad de México se requiere, entre otras acciones, instrumentar un eficiente sistema de transporte público para sus habitantes. En la actualidad, ante la doble condicionante que debe satisfacer el transporte de atender una demanda siempre creciente y, al mismo tiempo, contribuir a la reducción de los índices de contaminación, se refuerza la estrategia de dar prioridad al transporte colectivo sobre el individual, y al transporte eléctrico sobre el de combustión interna.

Considerando que el sistema de transporte colectivo Metro constituye el modo de transporte masivo que menos contamina, es de fundamental importancia la expansión continua de su red, por lo que dentro de los objetivos del Programa Integral de Transporte y Vialidad, el gobierno del Distrito Federal lleva a cabo la construcción de la Línea B, con un enfoque plenamente *Metropolitano*

Esta línea atiende a un proyecto de características particulares desde el planteamiento hasta su realización, lo que ha hecho necesaria la intervención de profesionales de las distintas áreas de la ingeniería, para poder sortear tanto las situaciones previstas como aquellas que se encuentran fuera de los planes iniciales.

En este primer capítulo se presentan algunos aspectos generales de las condiciones bajo las cuales se genera este proyecto, tomando en cuenta, por un lado, el enlace que la línea representa entre el Distrito Federal y el Estado de México; y por el otro, la solución constructiva múltiple que se genera con base en el trazo preliminar.

Uno de los principios fundamentales en la planeación de las líneas del metro que se han construido en nuestra ciudad ha sido el volumen de usuarios que harán uso de ellas, y el beneficio que traerán en lo que se refiere a la agilización y liberación de las arterias viales de mayor uso. En este caso, por tratarse de una línea que conecta zonas tan distantes, atravesando gran parte de la ciudad, es evidente la *necesidad de apegarse de lleno a este principio, para poder cumplir con el carácter práctico y operativo que requiere la zona de influencia.*

En la denominada primera etapa, la línea conecta el Centro Histórico con la zona nororiente del área metropolitana, ampliando no sólo la cobertura del sistema, sino también dando servicio a los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec en el Estado de México, con lo cual se garantiza una respuesta integral que considera el entorno social como parte del contexto urbano.

Para el buen funcionamiento de una línea o de una red de varias líneas del Metro, es importante determinar las principales características generales de operación de la línea, o de la red correspondiente. De manera general, puede decirse que los objetivos de la operación de un sistema de transporte como el que en esta ocasión nos ocupa, son los siguientes:¹

¹ Especificaciones para el proyecto y construcción de las líneas del metro de la Ciudad de México; vol. I, Generalidades y Terminología, capítulo 2.04.01.001

- **Seguridad:** representa el objetivo principal, dadas las altas concentraciones de personas (viajeros) que lo usarán, tanto en trenes como en estaciones. El cumplimiento de este objetivo está sumamente ligado al buen funcionamiento del material rodante, de las instalaciones, de los dispositivos automatizados diversos y, en gran medida, a la existencia de personal calificado en todas las etapas de puesta en marcha del sistema; ya que la operación no debe admitir la puesta en servicio sin el vasto conocimiento de las instalaciones, y la realización de exhaustivas pruebas dentro de condiciones lo más apegadas a la realidad que sea posible.
- **Regularidad.** este factor está ligado directamente a la operación continua que se debe tener, es decir, requiere de la automatización de los sistemas, y de una programación adecuada que permita tener la certeza de que los movimientos se llevan conforme a lo establecido y de manera conveniente. La disposición del equipo y del personal necesario en todo momento, acompañada de una centralización de la información, permite un control total de cualquier situación no planeada, para mantener la regularidad del sistema.
- **Confort.** este objetivo se refiere a la comodidad que debe experimentar el usuario en todo momento, tanto en el material rodante como en las estaciones, zonas de transbordo, etc. La coordinación del transporte multimodal en las cabeceras de las líneas y la prestación de todos los servicios en las estaciones, son aspectos de fundamental importancia en este apartado.
- **Rapidez** el empleo del tiempo como factor de satisfacción al usuario suele ser uno de los puntos finos a tomar en cuenta en la implantación de un sistema de transporte, es por ello que la centralización de las operaciones refuerza su importancia.
- **Costo:** la determinación del precio del servicio debe tomar en cuenta las posibilidades del usuario y la elección de las mejores alternativas durante el desarrollo del proyecto, de manera que se obtengan los demás objetivos de manera implícita, siguiendo reglas adecuadas de administración y una correcta secuencia en la toma de decisiones.

De acuerdo a lo anterior, se puede apreciar que la construcción de esta línea persigue el establecimiento de un sistema de transporte colectivo masivo, entre la zona nororiente del área metropolitana de la Ciudad de México, donde existen grandes asentamientos con alta densidad de población y bajos recursos económicos, y el Centro Histórico, que sigue siendo la principal zona atractora de viajes. Además se generan cinco nuevos transbordos directos con líneas que se encuentran operando actualmente.

Por otra parte, el hecho de que la línea se conecte a través de la estación Buenavista (en una de las cabeceras), con la red de Ferrocarriles Nacionales; y a través de la Estación Sn. Lázaro, con el sistema de Autobuses administrado por la TAPO, refuerza el carácter multimodal que el Programa Integral de Transporte y Vialidad ha querido dar a los sistemas de transporte dentro de la Ciudad de México

1.1 Zona de influencia

Con el objeto de fortalecer el esquema de transporte público y vialidad en la zona comprendida entre el Centro Histórico y la región de Sn. Juan de Aragón, y tendiendo a ampliar la cobertura de la Red de Metro en las colonias Buenavista, Guerrero y Tepito; se lleva a cabo la construcción de la Línea B, para beneficiar a 3,000,000 de habitantes que residen en la zona de influencia, misma que comprende a las Delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero en el Distrito Federal, y a los Municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec en el Estado de México.

La línea inicia en la Colonia Santo Tomás, bajo el Eje 1 Norte, entre el Circuito Interior y la calle Lauro Aguirre, en su recorrido se desplaza por el mencionado Eje 1 Norte (Alzate, Mosqueta, Rayón, Héroe de Granaditas, Av. del Trabajo, Albañiles), Eje 3 Oriente (Av. Ing. Eduardo Molina), calle Artilleros (al norte de las instalaciones de la TAPO), Av. Oceanía, Av. 608 (en el Distrito Federal) y Av. Carlos Hank González o Av. Central (en el Estado de México) hasta llegar a la Av. México en Ciudad Azteca, en donde se ubicarán los talleres de la línea ocupando un predio de 11 hectáreas, sobre el camellón de ésta última.

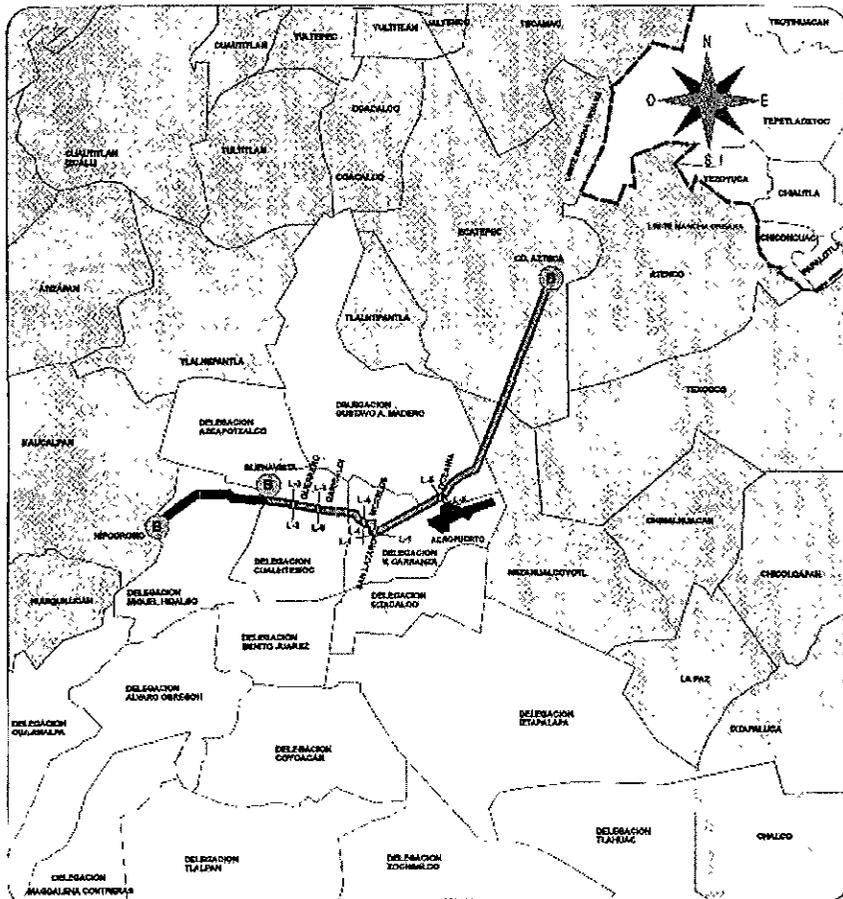
A lo largo del Eje 1 Norte, Av. Eduardo Molina y la Calle Artilleros, se restituye la vialidad original, con lo que se transforman en vía rápida continua 19 km, partiendo del extremo norte de la Av. Francisco del Paso y Troncoso, pasando por la calle Carretas, Av. Oceanía y hasta el final de la línea, como se ilustra más adelante.

El transbordo con cinco líneas que operan actualmente (Líneas 1, 3, 4, 5 y 8), hace que la zona de influencia adquiera mayor relevancia, dado que con estas nuevas correspondencias, las posibilidades del usuario para interconectarse con todas las estaciones que tendrá el sistema, se incrementarán de manera sustancial.

Al inicio de su operación, la línea tendrá una capacidad de transportación de 40,000 pasajeros-hora-sentido, pero se prevé que será capaz de lograr los 60,000 pasajeros-hora-sentido, con lo cual se hará posible la sustitución de 1,484 vehículos de transporte, es decir, 1096 microbuses y 388 autobuses, lo que equivale a un 27% del parque vehicular que actualmente circula para dar el servicio a estos usuarios.

A continuación se presenta en la *Figura 1.1* un mapa de la línea, donde se aprecia la zona de influencia, resaltando las delegaciones y municipios contemplados en el trazo, incluso se denota el límite de la mancha urbana, con lo que es posible percatarse de la gran cobertura que se logra respecto al área metropolitana. También se pueden observar los puntos en donde se interconectará con la red de Metro actualmente en operación, misma que podemos apreciar en la *Figura 1.2*. En la *Figura 1.3*, observamos de manera más clara las vialidades que forman parte de la zona de influencia, así como el límite entre el D.F. y el Estado de México.

METROPOLITANO LINEA - B



- 1a ETAPA BUENAVISTA - CD. AZTECA
- CONSTRUCCION A FUTURO
- LIMITE MANCHA URBANA

Figura 11*

* Metropolitano Línea B, Buenavista – Ciudad Azteca; D.D.F. Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo, pág. 3

LINEA B

BUENAVISTA - CD AZTECA
PRIMERA ETAPA



Figura 1.3

* Metropolitano Línea B, Buenavista – Ciudad Azteca; D.D.F. Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo; pág, 4

1.2 Necesidades de la zona

Dado el movimiento que se da diariamente desde la zona nororiente del área metropolitana hacia otras zonas de la ciudad (sur y centro), de un gran número de personas por cuestiones laborales principalmente, se plantea la necesidad de crear un sistema alternativo de transporte que reduzca los tiempos ocupados para traslado, y genere beneficios a favor del ambiente, que repercutan de manera directa en la imagen y bienestar de la zona de influencia, con un enfoque práctico – funcional que brinde al usuario del transporte público seguridad y certeza en los tiempos de recorrido.

En respuesta a esto, surge la construcción de la nueva línea del sistema metropolitano de transporte, cuya configuración ayudará a aligerar la carga de pasajeros que tienen algunas de las actuales estaciones, a través de la disminución del transporte público que albergan en sus alrededores. Por ejemplo, de la estación Moctezuma de la línea 1 serán reasignadas las 32 rutas y ramales que aquí se concentran, y se ubicarán en puntos estratégicos de la nueva línea, donde se construirán paraderos de acuerdo a criterios definidos por el flujo de pasajeros. Así se logrará que 12,800 personas cuenten con un mejor servicio diariamente, gracias a la reubicación de 1,600 unidades.

Bajo este mismo principio, se logrará una disminución de las concentraciones del parque vehicular del 13%, 90% y 14%, en las estaciones Indios Verdes, Sn. Lázaro y Martín Carrera, respectivamente, con una reasignación total de 23 rutas y ramales.

Ahora, en lo que se refiere a las necesidades del usuario del transporte privado, las actuales avenidas Central, 608 y Oceanía, mejorarán tanto su imagen urbana como su grado de operatividad y servicio, ya que se ampliarán a 3 los carriles de circulación en cada sentido y se incrementarán las tareas de reforestación y modernización del mobiliario urbano. También serán instalados 47 pasos peatonales y, a fin de integrar la zona oriente con la poniente, serán construidos 16 pasos a desnivel con tres grandes distribuidores viales que permitirán la conexión vial continua e ininterrumpida a través de 19 km, como ya se mencionó, lo que reducirá los tiempos de recorrido a la mitad, según el incremento de velocidad estimado, impactando benéficamente con el ahorro de 400,000 litros de combustible al día.

En el mediano plazo, este corredor vial puede extenderse a 43 km, desde la zona de Venta de Carpio hasta la Delegación Xochimilco, utilizando el Eje 3 Oriente; aligerando en forma significativa la Av. de los Insurgentes Norte y reforzando al mismo tiempo el recién inaugurado Arco Nororiente del Periférico, lo que representa para el usuario otra opción más de traslado, y para el funcionamiento vial de la ciudad, el desahogo de vialidades sobresaturadas.

Atendiendo a la capacidad económica de los habitantes de la zona de influencia, principalmente de aquellos que pertenecen a los municipios del Estado de México y a las delegaciones que colindan con éste, se aprecia la gran necesidad que existe de reducir los gastos diarios por traslado de estas personas, ya que el transporte colectivo que circula sobre la vialidad

coincidente con el trazo de la nueva línea, maneja tarifas más elevadas a las autorizadas en el D.F., por depender del gobierno del Estado de México, es por ello que el beneficio de la Línea B se extiende más allá de lo operativo y funcional, pues traerá consigo un ahorro para la comunidad afectada por concepto de pasajes, no sólo por sustituir a un cierto número de autotransportes urbanos, sino por el acceso directo que se genera con el sistema existente, cuya infraestructura y cobertura permiten mejores opciones de movimiento.

1.3 Características generales del proyecto

Algunas de las principales características de la línea se presentan a continuación:

Longitud total de la línea	<ul style="list-style-type: none"> - 23.70 km - 13.50 km en el D.F. - 10.20 km en el Estado de México
Número total de Estaciones	<ul style="list-style-type: none"> - 21 estaciones - 13 en el D.F. - 8 en el Estado de México
Longitud promedio entre estaciones	1,021.00 m
Material rodante	Neumático tercer riel
Capacidad	- 1,530 personas por cada tren de nueve carros a carga normal, es decir, considerando un arreglo de seis pasajeros por m ² .
Velocidad máxima	75 km/hr
Velocidad comercial	37 km/hr
Intervalo de diseño	90.0 segundos

La secuencia de las estaciones queda establecida de acuerdo a lo que muestra la siguiente tabla, que además indica de qué tipo de estación se trata, la delegación a la que pertenece, su ubicación precisa y, según sea el caso, su proyección a futuro dentro del sistema

ESTACION	DELEGACION (o Municipio)	UBICACION	CARACTERISTICAS
 Buenavista	Cuauhtémoc	Eje 1 Norte y Av. de los Insurgentes.	Terminal provisional, futura correspondencia con la línea 15
 Guerrero	Cuauhtémoc	Eje 1 Norte, entre la Av. Guerrero y la calle Héroes.	Estación de correspondencia con la actual línea 3.
 Garibaldi	Cuauhtémoc	Eje 1 Norte y Eje Central.	Estación de correspondencia con la actual línea 8
 Lagunita	Cuauhtémoc	Eje 1 Norte, entre las calles de Brasil y Argentina.	Estación de paso.
 Tepito	Cuauhtémoc	Eje 1 Norte, entre Manuel Doblado y la Av. del Trabajo.	Estación de paso
 Morelos	Venustiano Carranza	Eje 1 Norte y Eje 2 Oriente (Congreso de la Unión)	Estación de correspondencia con la actual línea 4.
 San Lázaro	Venustiano Carranza	Calle Artilleros, entre el Eje 3 Oriente y Héroes de Nacozari.	Estación de correspondencia con la actual línea 1.
 Gran Canal	Venustiano Carranza	Av. Oceanía, entre Francisco Villa y Francisco Murguía.	Estación de paso
 Romero Rubio	Venustiano Carranza	Av. Oceanía, entre las calles de Japón y Marruecos.	Estación de paso.
 Oceanía	Venustiano Carranza	Av Oceanía al cruce con el Circuito Interior.	Estación de correspondencia con la actual línea 5.
 Deportivo Oceanía	Gustavo A Madero	Av. 608 y Av 602	Estación de paso.
 Bosque de Aragón	Gustavo A. Madero	Av. Oceanía y Av 602.	Estación de paso
 Villa de Aragón	Gustavo A Madero	Av. 608 y Av. 412.	Estación de correspondencia a futuro con la línea 6.
 Continentes	Nezahualcóyotl	Av Central y Boulevard de los Continentes	Estación de paso

ESTACIÓN	DELEGACION (o Municipio)	UBICACION	CARACTERISTICAS
 Impulsora	Nezahualcóyotl	Av. Central y Av. Valle de las Zapatas.	Estación de paso.
 Río de los Remedios	Ecatepec	Av. Central al cruce con Periférico Norte.	Estación de paso.
 Muzquiz	Ecatepec	Av. Central y Valle del Guadiana.	Estación de paso.
 Tecnológico	Ecatepec	Av. Central y Av. Ciudad Azteca.	Estación de paso.
 Olímpica	Ecatepec	Av. Central y Av. Sagitario.	Estación de paso.
 Plaza Aragón	Ecatepec	Av. Central, frente al centro comercial del mismo nombre.	Estación de paso.
 Ciudad Azteca	Ecatepec	Av. Central, entre Boulevard de los Guerreros y Boulevard de los Aztecas	Estación terminal definitiva, cabecera de talleres de la línea.

En las cinco correspondencias que habrá a lo largo de esta línea, se tendrán pasarelas y túneles de transbordo con una longitud promedio de 150 m, y con base en criterios de optimización de espacios establecidos en el proyecto, se ubicarán de manera general en una sola zona denominada *corpo de estación*, accesos, escaleras, vestíbulos, pasillos, andenes y áreas de operación del sistema, tratando de que los movimientos relativos a cambio de línea se den de la manera más ágil posible en las estaciones de enlace

Una de las características interesantes de este proyecto es la utilización de dos tipos de vías principales. sobre balasto y sobre concreto. Cada uno de estos dos sistemas requiere de consideraciones distintas en cuestión de niveles, sobreelevaciones, fijación de las vías y juntas constructivas, como se explica a continuación.

- **Vía sobre balasto.** Está constituida por riel, pista y barra guía; sirve para guiar y mantener una base lo suficientemente rígida, alineada y nivelada, para permitir un desplazamiento uniforme y continuo de los trenes. La barra guía además se utiliza como conductor de la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del material rodante. Este sistema consiste en asentar y fijar los elementos metálicos a durmientes de concreto espaciados a cada 75.0 cm en rectas y a cada 60.0 cm en curvas, los cuales van asentados sobre una cama continua de balasto triturado que reparte y transmite las cargas al suelo. Se utiliza en los tramos subterráneo y

superficial de la línea. En la siguiente figura (*Figura 1 4*) podemos observar claramente en qué consiste este sistema.

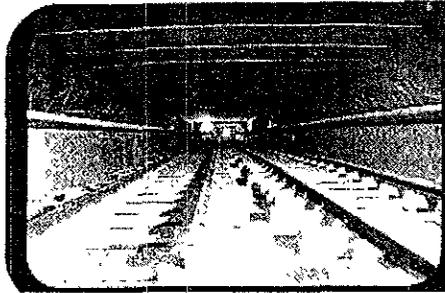


Figura 1.4

- **Vía sobre concreto:** En este tipo de vía se sustituyen los durmientes y el balasto por elementos macizos de concreto armado, rectangulares, que toman su altura variable (20 – 30 cm) de acuerdo a las sobreelevaciones que exija el trazo. Los elementos metálicos se fijan a estos macizos mediante anclas y calzas aislantes que quedan ahogadas desde el colado de los mismos. Se utiliza en el tramo elevado de la línea, y la fijación está considerada en el armado principal de las trabes.

Uno de los detalles finos en el uso de estos dos sistemas, es el que se refiere a las juntas constructivas en las conexiones de uno con otro, ya que los niveles, el trazo y el cambio en el tipo de cimentación deben cuidarse en todo momento para evitar vicios ocultos que puedan alterar la eficiencia del servicio, durante la etapa de operación.

Para satisfacer las necesidades de energía eléctrica, el Metropolitano Línea B recibirá el suministro de dos subestaciones de Luz y Fuerza del Centro: la subestación “Merced”, ubicada en Sn Antonio Tomatlán, y la subestación “Peralvillo”, ubicada en Ferrocarril Industrial y Calzada Guadalupe. Este suministro se realizará de manera directa a la Subestación Eléctrica de Alta Tensión (SEAT), ubicada entre las avenidas Oceanía y Ferrocarril Industrial, que consta de 3,000 m² y dos niveles de edificación para el control de la alimentación, tanto de los trenes como de las instalaciones, por ejemplo, el alumbrado. Como parte complementaria de este esquema, existen subestaciones de rectificación (SR) en los intertramos de la línea, lo que garantiza continuidad y homogeneidad en el abastecimiento.

Algunos de los sistemas de ayuda a la operación con que contará la línea son: Señalización, Mando centralizado, Pílotaje automático y Telecomunicaciones, que, gracias a equipos electrónicos y computarizados, ayudarán a mantener el sistema bajo condiciones seguras de operación en lo que se refiere a rangos de velocidad permitidos, paro y arranque de trenes, secuencias de ruta, supervisión y mantenimiento programado de instalaciones. Cabe mencionar

que aunado a todo esto, el proyecto contempla y establece claramente una instalación general contra incendio, una de alumbrado de emergencia y un circuito de videovigilancia

Los talleres, localizados en la cabecera de la línea (Ciudad Azteca), constituyen un conjunto de instalaciones en las que se dará servicio de mantenimiento preventivo y correctivo, principalmente a los trenes. Este lugar consta de un depósito de trenes para resguardo; una nave de mantenimiento menor, un tramo de vía denominado *de prueba*, donde se simulan las condiciones de operación para garantizar la efectividad de los trabajos de mantenimiento, entre otras instalaciones de apoyo para el personal que aquí laborará.

El material rodante seleccionado para la línea B del Sistema Metropolitano de Transporte es del tipo neumático, con rueda de seguridad; la alimentación de energía se da a través de escobillas de toma de corriente positiva, localizadas en la parte lateral de los carros motrices. Los trenes constan de nueve carros, lo que equivale a una longitud de 150 m

1.4 La Línea "B" como parte del Plan Maestro

Dentro de las acciones emprendidas por el gobierno de la ciudad para atender las demandas ciudadanas en materia de transporte urbano, el Metropolitano Línea B destaca de manera relevante como parte del Programa Maestro de Ferrocarriles Urbanos y Suburbanos del Área Metropolitana (3ª Revisión, 1996). Con esta nueva línea, la Red actual del Metro se incrementa en un 13%, de 178 a 202 km. Además, se generarán del orden de 540,000 viajes - persona/día en el mediano plazo, y se ahorrarán alrededor de 40,000 horas - hombre diarias por concepto de pasaje.

El Programa Maestro del Metro, como parte del Programa Maestro de Ferrocarriles Urbanos y Suburbanos del Área Metropolitana, se compone de la siguiente manera, considerando un horizonte de desarrollo al año 2010.

LÍNEA	SITUACIÓN ACTUAL	LONGITUD (km)	SENTIDO	NÚMERO DE ESTACIONES
1	Completa	18.82	Oriente - Poniente	20
2	Completa	23.43	Sur - Poniente	24
3	Completa	23.61	Norte - Sur	21
4	Incompleta	10.74	Norte - Sur	10
5	Incompleta	15.67	Norte - Oriente	13
6	Incompleta	13.94	Norponiente - Nororiente	11
7	Incompleta	18.74	Norponiente - Surponiente	14
8	Incompleta	20.61	Norte - Suroriente	19

LÍNEA	SITUACIÓN ACTUAL	LONGITUD (km)	SENTIDO	NÚMERO DE ESTACIONES
9	Incompleta	15.37	Oriente – Poniente	12
10-β	En construcción	23.70	Nororiente – Poniente	21
11		18.71	Surponiente – Suroriente	16
12	*	18.97	Poniente – Oriente	17
13	*	17.62	Poniente – Oriente	15
14	*	24.71	Nororiente – Suroriente	21
15	*	25.63	Norte – Surponiente	23
A	Completa	17.00	Suroriente – Oriente	10
En operación		178.00	En operación	154
Restan según PMM		154.00	Restan según PMM	130
Total según PMM		332.00	Total según PMM	284

* Consideradas dentro del PMM, pero aún no iniciadas
PMM Programa Maestro del Metro.
 β Línea "B"

Dado que el Programa Integral de Transporte y Vialidad se complementa con el Programa Maestro de Desarrollo del Área Metropolitana, se generan de manera paralela y de acuerdo a la vialidad coincidente, tanto proyectos de construcción como de adecuación de puentes vehiculares y distribuidores viales, lo que ayuda, entre otras cosas, a descargar los congestionamientos que se dan debido a la entrada de vehículos por la supercarretera a Pachuca.

La distribución de estas estructuras en el Distrito Federal y en el Estado de México se da de la siguiente manera, a todo lo largo de la línea, tomando un sentido de desarrollo desde la estación Buenavista y hasta Ciudad Azteca

En el Distrito Federal

- Distribuidor Vial de Eje 1 Norte – Av. Oceanía – Av. Ignacio Zaragoza.
- Puente Vehicular en el cruce Av. Oceanía – Av. Marruecos
- Distribuidor Vial de Av. Oceanía – Av. 608 – Av. 602(Vía TAPO) – Av. 506.
- Paso deprimido en Av. 613, bajo Av. 608
- Paso elevado en Av. 661, sobre Av. 608.
- Distribuidor Vial de Av. 608 – Av. 412 – Av. Central – Av. Taxímetros.

En el Estado de México:

- Puente Ferrocarril – Los Reyes
- Puente Vehicular de Av. Central – Boulevard de los Continentes – Av. Jorge Jiménez Cantú

- Puente Vehicular de Av. Central – Valle de las Zapatas – Hacienda de las Presillas.
- Puente Vehicular en el cruce Av. Central – Periférico Arco Norte (Río de los Remedios).
- Puente Vehicular de Av. Central – Gobernador Fernández – Valle de Guadiana
- Puente Vehicular de Av. Central – Valle de Júcar – Gobernador Alfredo del Mazo.
- Puente Vehicular de Av. Central – Av. Ciudad Azteca – Sor Juana Inés de la Cruz.
- Puente tipo herradura, de acceso al paradero "Ciudad Azteca".
- Puente Vehicular en el cruce Av. Central – Boulevard de los Aztecas
- Puente Vehicular en el cruce Av. Central – Boulevard de los Teocallis.

Todas estas obras, asociadas a la construcción del Metropolitano Línea B, ayudarán a fortalecer la vialidad de la zona nororiente de la ciudad, mediante vías rápidas sin cruces a nivel, y mejorarán las condiciones de desplazamiento, con el beneficio implícito de orden a otros medios de transporte tanto privado como público.

Cabe mencionar que el Programa Maestro contempla además, acciones de reforestación, alumbrado público, señalamiento vial y algunas otras mejoras al entorno urbano como zonas de intercambio de transporte perfectamente planeadas, para que se satisfagan las demandas del usuario y le sean placenteros los tiempos de traslado, cualquiera que sea el medio de transporte elegido.

1.5 Las soluciones constructivas para los tres tramos de la línea

En nuestra ciudad existen actualmente 10 líneas del Metro en funcionamiento, y cada una ha requerido un cierto criterio en el planteamiento de la ruta, en la elección del sistema constructivo, y en general en la toma de decisiones derivada de las características del proyecto, y de las exigencias de la zona de influencia.

La obra civil de esta línea se concibió con base en tres tipos de solución: subterránea, elevada y superficial. Cada una posee un cierto grado de dificultad y un sinnúmero de particularidades, tanto en procedimiento constructivo como en medidas de seguridad a aplicar. El costo por kilómetro varía entre los tres sistemas, de tal forma que la solución subterránea resulta la más costosa, seguida por la solución elevada y en último término, la superficial.

- La solución subterránea

Se aplica en una longitud de 5.90 km, entre las estaciones Buenavista y el intertramo Morelos – Sn Lázaro. Consiste en un túnel somero cuyo desplante está a una profundidad variable de entre 9.0 y 15.0 m, el cajón rectangular se conforma con dos tablaestacas coladas en el lugar (muros Milán), mediante las cuales se delimita la zona a excavar, conforme se avanza en esta actividad, es necesario apuntalar los muros o tablaestacas. Una vez que se alcanza el nivel

de desplante, se construye la losa de fondo, a la cual se ancla el arranque de los muros laterales o de acompañamiento, que se cuelan hasta alcanzar el nivel de la losa de techo. Una vez cerrado el túnel, se efectúan rellenos en la parte superior hasta alcanzar el nivel requerido para la restitución de la vialidad mediante pavimentos.

La longitud de los frentes de ataque en los tramos de túnel varía entre los 20.0 y los 50.0 m de acuerdo a la asignación de recursos que se haga, y del número de frentes abiertos. Las estaciones del tramo subterráneo se construyen bajo el mismo esquema, con algunas variantes como las rampas de acceso y la ampliación de los nichos en la zona de andenes.



Figura 1.5



Figura 1.6

- La solución elevada

Se aplica en una longitud de 4.40 km, entre el intertramo Morelos – Sn. Lázaro y el intertramo Oceanía – Bosque de Aragón. Consiste en la construcción de un viaducto soportado por una serie de columnas cimentadas con base en un sistema mixto de compensación y pilotes de fricción. Los pilotes tienen una longitud de hincado promedio de 27.0 m y se ligan en la parte superior al desplante de una zapata tipo cajón con contratraveses, que habrá de recibir dos columnas en intertramos, y cuatro en estaciones. Las columnas, previamente ligadas a las contratraveses, se rematan en la parte superior mediante capiteles con accesorios metálicos que sostienen traveses portantes prefabricados. Las traveses que se apoyan en los pares de columnas antes mencionados, se denominan traveses de apoyo, ya que aquellas que van de zapata a zapata se denominan traveses de conexión, y cuentan con estructuras de soporte móviles sobre las traveses de apoyo, conformando las juntas constructivas en las que se basa el comportamiento sísmico de la estructura.

El principal beneficio de este sistema es que sobre la vialidad coincidente únicamente se roba un espacio de 1.40 m, igual al diámetro de las columnas a todo lo largo del tramo. Cabe mencionar que el sistema de automontaje de las traves durante el proceso constructivo es uno de los aspectos que mayores beneficios y ahorros trajo consigo.

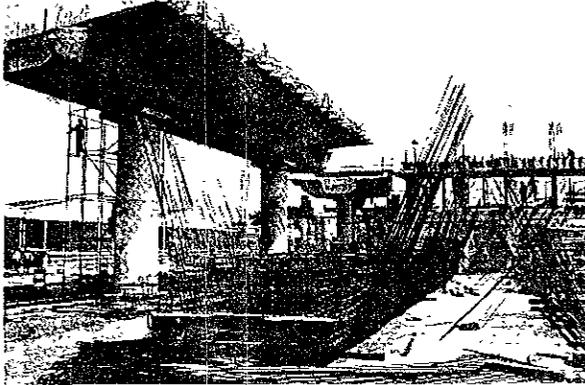


Figura 1.7

- La solución superficial

Se aplica en una longitud de 13.40 km a lo largo de la Av. 608 y la Av. Central, entre el intertramo Oceanía – Bosque de Aragón, y la estación terminal Ciudad Azteca. Es la solución más sencilla desde el punto de vista técnico, ya que consiste en la construcción de un cajón abierto de concreto, con una losa de piso de 50.0 cm de espesor, y dos muros laterales para confinamiento y protección

Las estaciones de este tramo no reflejan ningún aspecto que requiera especial atención en lo estructural, pues han sido diseñadas de acuerdo a principios básicos de edificación, con una cimentación superficial muy sencilla.



Figura 1.8

Es importante mencionar que uno de los criterios económicos que tuvo mayor influencia en la elección de las últimas dos soluciones está ligado a las características de la vialidad coincidente, ya que en el tramo superficial existía mayor disponibilidad de espacio a lo ancho de la Av. Central, lo que permitió tomar 10.0 m de la misma, por el contrario, en el tramo elevado, no había la misma disponibilidad sobre la Av. Oceanía, lo que obligó a optar por el otro sistema, que ocupa un mínimo de la vialidad. De haber sido posible adoptar un solo sistema, hubiera resultado más práctico, pues el equipo y los recursos no hubieran variado en una longitud considerable; sin embargo, por ser el sistema superficial el más económico, hubo que aplicarlo en el tramo en el que las dimensiones de la vialidad lo permitieron.

Los intertramos en los que se da el cambio de un sistema a otro han sido denominados transiciones, y en la construcción de éstos se pone un cuidado especial, ya que no sólo se pasa nominalmente de uno a otro, sino que este cambio involucra una variación en el tipo de cimentación utilizada, y si no se hacen las consideraciones adecuadas, se puede llegar a tener problemas en el futuro, tales como flotación o hundimiento en una de las dos, lo que generaría diferencia de niveles, problema sumamente grave en cualquier clase de vía terrestre, especialmente en este caso, por la existencia de juntas, no sólo constructivas sino también mecánicas, en las vías o rieles.

1.6 El tramo elevado

De los tres sistemas descritos con que se dio solución a la construcción de esta línea, el denominado tramo elevado es el que se describe con detalle en este trabajo, con un enfoque operativo sobre los procedimientos constructivos desarrollados. La configuración de este tramo comprende 4 estaciones, 5 intertramos, y una longitud total de 4.40 km; con dos correspondencias en las estaciones extremas; por un lado, en la estación Sn Lázaro, con la línea 1, y por otro, en la estación Oceanía, con la línea 5; así pues, el tramo elevado se encuentra dentro del Distrito Federal en su totalidad.

En las *figuras 1.9 y 1.10*, se observan una planta y un perfil detallado donde se ubica claramente el segmento de la línea al que se hace referencia en el párrafo anterior. La simbología mostrada permite comprender la gran cantidad de obras anexas que, como resultado del proyecto, son necesarias para permitir que el trazo de la línea no se vea interferido; además, también se puede apreciar que el entorno del tramo es 100% urbano, situación que obliga a que los criterios de planeación tengan un carácter altamente especializado, sobre todo en lo que se refiere a logística; es decir, las estrategias asociadas al procedimiento constructivo se formulan con base en criterios especializados de liberación de zonas de trabajo con afectaciones mínimas al esquema u orden vial establecido.

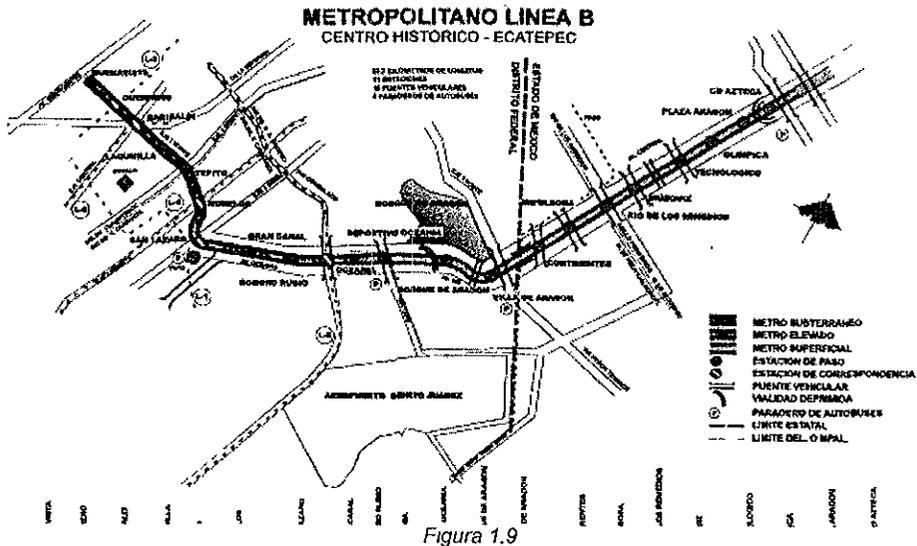


Figura 1.9

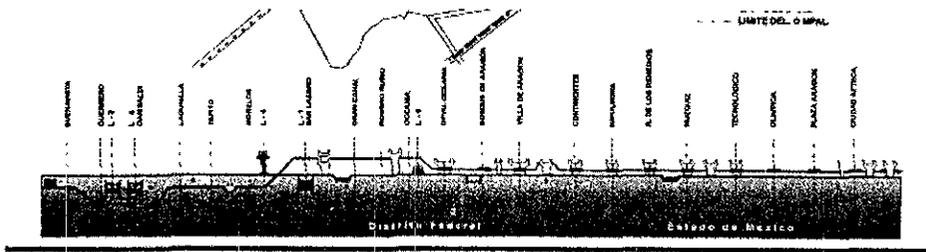


Figura 1.10

El tramo elevado se atacó con base en cuatro frentes principales.

- **Frente 1**
Transición Morelos – Sn Lázaro; Estación Sn Lázaro, Intertramo Sn. Lázaro – Gran Canal.
- **Frente 2**
Estación Gran Canal; Intertramo Gran Canal – Romero Rubio; Estación Romero Rubio.
- **Frente 3**
Intertramo Romero Rubio – Oceanía, Estación Oceanía, Transición Oceanía – Bosques.
- **Frente 4**
Extracción de colector en interferencia y adecuación de la Planta de bombeo de aguas negras.

A lo largo de este trabajo se describe el proceso constructivo seguido para la realización de esta obra, desde el punto de vista de obra civil, obra inducida, programación, entre otros aspectos de interés, y sobre todo que resultan relevantes por la aplicación de técnicas innovadoras y creativas dentro del campo de la Ingeniería Civil, no sólo por el apego que hubo al proyecto, sino también por el desarrollo de las actividades en obra que requirieron la intervención directa de los ingenieros a cargo

Los 4 frentes fueron manejados por una superintendencia de obra, encargada de tratar con el cliente los aspectos que durante la construcción fueran surgiendo, y quien tuvo que establecer un sistema para el manejo de la información referente tanto al proyecto, como al control de las actividades de la obra.

Cabe mencionar que existe un control de los procesos, basado en el sistema de calidad implantado en la constructora, el cual fue adecuado de acuerdo a las exigencias del cliente, para ser aplicado de manera general en este tramo de la línea. La supervisión ha jugado un papel de suma importancia en este control, ya que estableció algunos de los cursos de acción particulares, mismos que se encuentran perfectamente documentados, con carácter de exclusivos y obligatorios del tramo elevado del Metropolitano Línea B.

CAPÍTULO 2 “ Preliminares “

Cuando se habla de la etapa de *Preliminares*, no se hace referencia únicamente a las actividades previas a la obra civil de manera cronológica, sino a todos aquellos trabajos que es necesario llevar a cabo para dar lugar a un espacio de trabajo libre en todos los sentidos. Al decir libre se habla de que el lugar en donde se va a trabajar debe presentar las características idóneas para que el desarrollo de las actividades que corresponden se dé bajo un marco de plena seguridad y funcionalidad.

En muchas ocasiones, los trabajos preliminares pueden planearse durante la etapa de proyecto; sin embargo, en la mayoría de los casos, es en la obra en donde se determinan bien a bien los alcances de estas actividades, según sean las condiciones reales del lugar y las características específicas que se requiera dar al mismo, para poder desarrollar la actividad principal, entendiendo como actividad principal aquella para la cual se requieren hacer ciertas adecuaciones al sitio de trabajo.

Los Preliminares se llevan a cabo antes de iniciar las actividades de obra inducida, de montaje, de acarreo de materiales, de maniobra y de obra civil propiamente. Es por ello que cada una de las actividades que se desarrolle dentro de esta partida, puede ser sumamente variada, y como ya dijimos, suele no preverse.

Dentro de lo que fue la construcción del Metropolitano Línea B tramo elevado, los preliminares representaron una parte muy importante, ya que por la magnitud e importancia de las vialidades coincidentes, y la presencia de un gran emisor de aguas negras a lo largo de 1.5 km sobre el trazo de la línea, hubo que planear desvíos vehiculares y métodos de confinamiento de las áreas de trabajo, de tal forma que se afectara lo menos posible tanto a vecinos como a conductores y peatones, dentro del esquema urbano tan difícil que presenta la zona oriente de la ciudad.

Las necesidades de la obra y las necesidades de la zona, determinan en conjunto la mejor estrategia para poder trabajar, ya sea de manera intensiva, si la afectación es notable, o por etapas, si el proyecto lo permite o el lugar lo requiere. La etapa de Preliminares resulta de gran importancia, y sólo la experiencia permite hacer un pronóstico a nivel proyecto, muy cercano a lo que se presentará al momento de estar ejecutando la obra.

En los casos en que la obra se va a llevar a cabo en lugares donde se sabe existe dificultad para desarrollar los trabajos, y resulta casi imposible prever ciertas situaciones desde el punto de vista de presupuesto, suelen asignarse "conceptos por preliminares", manejando lotes, con los cuales se trata de cubrir un estimado por este tipo de situaciones que no se pueden definir con anterioridad. Es un hecho que siempre habrá trabajos extraordinarios que se deberán conciliar en obra tanto para su realización como para su cobro, y los preliminares son de los que más frecuentemente presentan esta característica

2.1 Los bandeos viales y los confinamientos (Planeación de etapas, vialidades coincidentes)

- Bandeos Viales:

Se trata de desvíos que se hacen a una vialidad, con el fin de delinear una zona de trabajo que por cuestiones del proyecto cae precisamente dentro de lo que es el curso normal de los vehículos. Estos bandeos o desvíos, atienden a cuestiones de seguridad en gran medida, ya que lo que se trata de hacer con ellos es evitar posibles accidentes que afecten a personal de la obra, o incluso a los propios conductores. Un bandedo vial debe respetar ciertas restricciones en cuanto a las dimensiones de los carriles de circulación y a los cambios de dirección que alteran el curso normal de la vialidad coincidente, para lograr evadir la zona de obra. Los bandeos viales deben llevarse a cabo de una manera sumamente veloz y en horas de poco tránsito, con el objeto de reducir al máximo los disturbios que se puedan ocasionar por el desarrollo de estas actividades de adecuación.

- Confinamientos:

Los confinamientos son estructuras que tienen como fin delimitar el área de trabajo para evitar, por una parte, la intromisión de personal ajeno a la obra, y por otra, afectar de manera directa la zona aledaña a ella. Es un hecho que la colocación de un confinamiento atiende a factores tales como el tipo de obra de que se trate, la clase de ruido que se vaya a generar, el tiempo que se vaya a llevar la actividad a realizar dentro del área confinada, la cercanía de vialidades, la zona aledaña, e incluso el grado de riesgo que exista en cuanto a los trabajos. Existe una gran variedad de opciones para el confinamiento de un área, que va desde las bollas de señalización, hasta los tapiados de madera o lámina, pasando por la malla y las rejas de todo tipo.

Los bandeos viales y los confinamientos, por lo regular, van de la mano, debido a que el límite entre la zona de obra y el bandedo resulta ser el confinamiento. Hay ocasiones en que el confinamiento es independiente de la estructura que se utilice para delimitar el bandedo vial, debido a que se requiere un corredor peatonal entre estas dos fronteras.

Como parte de los preliminares, los bandeos viales y los confinamientos presentan cierta dificultad en lo que a su planeación se refiere, y aunque existen planos de desvíos vehiculares y vialidades coincidentes, como el que se muestra en la *Figura 2.1*, en la mayoría de los casos es necesaria la planeación en obra de este tipo de esquemas a seguir, para poder liberar zonas de trabajo conforme al avance que se tenga, y de acuerdo a las condiciones reales que puedan afectar los procedimientos constructivos a utilizar. Un aspecto muy importante a tomar en cuenta para la planeación de un bandedo vial es el aspecto económico, ya que el hecho de que sea

LINEA B

BUENAVISTA - CD AZTECA
PRIMERA ETAPA
VIALIDAD COINCIDENTE

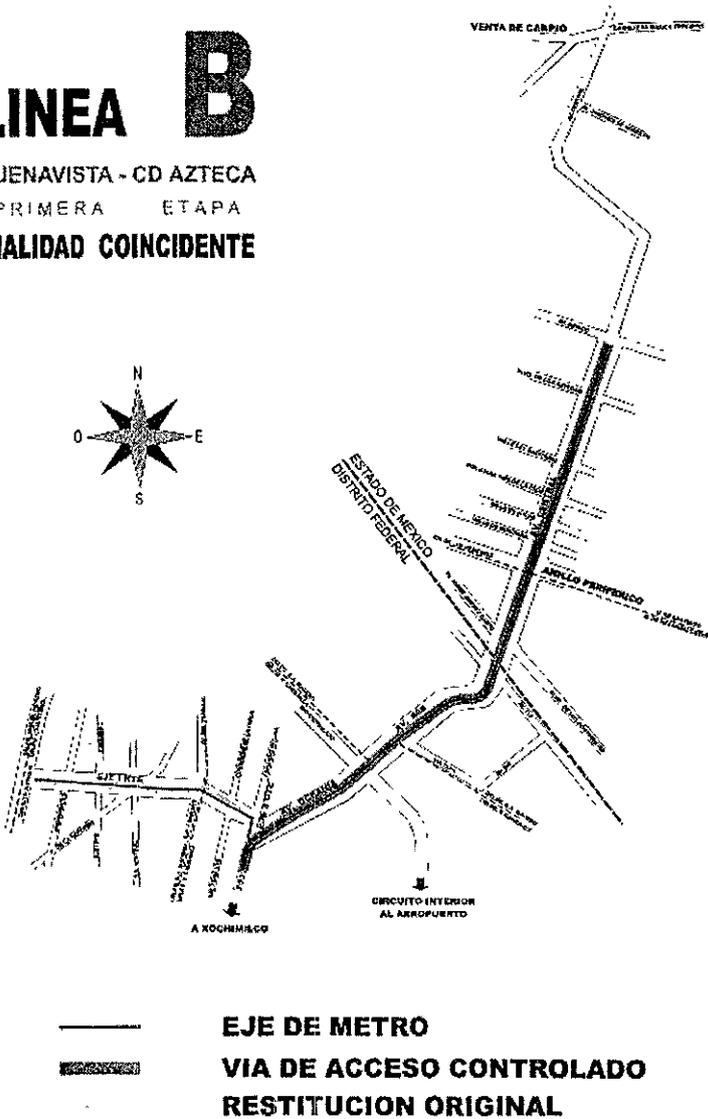


Figura 2 1*

* Metropolitano Línea B, Buenavista – Ciudad Azteca, D.D.F. Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo, pág. 8

necesario, no significa que no pueda atacarse por etapas, tal y como se hizo durante la construcción de las zapatas del Metropolitano Línea B tramo elevado.

La ventaja de trabajar por etapas los confinamientos y los bandeos, es que la cantidad del material a utilizar puede ser menor, ya que si existe apego a un programa de obra, se puede planear qué zona es primordial atacar, y en qué tiempo se puede terminar. Esto es todavía más notorio cuando se trata de una obra secuencial, como lo son los intertramos del Metropolitano Línea B, tramo elevado; en donde se diseñaron dos o tres arreglos modulares por tramo, con los cuales se confinaban las zapatas que se estaban trabajando, para retirarse una vez rellena la excavación.

La lámina pintro fue el método más recurrido de confinamiento en esta línea, combinado algunas veces con módulos de malla ciclón. Por otra parte, los bandeos se hicieron con boyas y señales fluorescentes de lámina, con la respectiva señalización en el pavimento.

La liberación de zapatas sobre la Av. Oceanía fue una de las actividades que más claramente puede describir este tipo de trabajos, ya que se realizó un bandedo y confinamiento programado por etapas, conciliado previamente con la Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo, la cual autorizó los movimientos y adecuación de la circulación existente. En las Figuras 2.2 y 2.3 puede observarse un bandedo sobre la vialidad coincidente, en el que se confinó la zona correspondiente a los carriles centrales, y se dejaron libres los laterales.

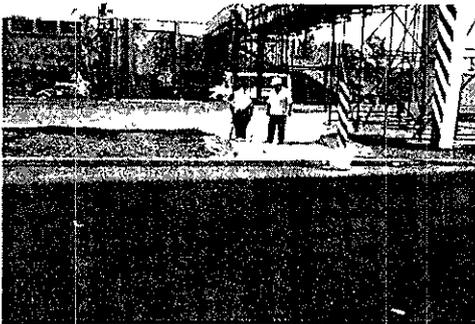


Figura 2.2

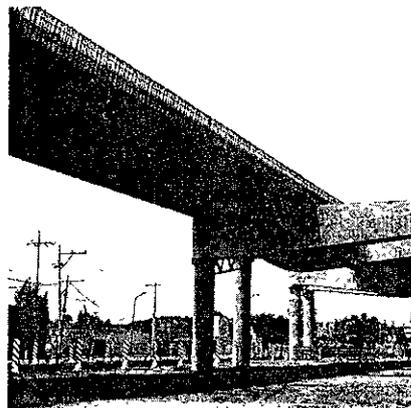


Figura 2.3

2.2 Los trabajos de demolición.

La demolición suele ser una de las actividades menos apreciadas dentro de la construcción, debido quizás a que no se ha establecido su importancia y alcance, sobre todo dentro de un proyecto como el que en este trabajo se analiza. Cuando se habla de demolición en

excavaciones ésta se refiere a actividades que pueden reducir notablemente el rendimiento en lo que a excavación se refiere, ya que tanto la destrucción de piezas de concreto que se encuentran enterradas, como su extracción, carga y acarreo, pueden alterar los volúmenes programados por ejecutar.

Resulta muy difícil establecer estas mermas en los rendimientos, por lo tanto, el concepto de demolición debe contemplar todas estas consideraciones al momento de integrar el precio unitario de los trabajos.

La demolición en excavación no fue el único caso que se presentó durante la construcción de esta línea, se demolieron toda clase de elementos de concreto tales como guarniciones, banquetas, muros, zapatas y bases de postes, entre otros. Un caso especial que vale la pena mencionar, es la demolición del colector de 1.82 m de diámetro, ubicado a lo largo de la Av. Oceanía, el cual coincidía con el trazo de la línea en una longitud de 1.5 km. Esta demolición fue necesaria para poder pilotear, y por supuesto se llevó a cabo previo desvío de esta línea de aguas negras.

La conciliación entre la constructora y la supervisión de este tipo de trabajos suele ser *problemática*, por lo que es necesario tomar fotografías referenciadas para poder cobrarlos. Cuando existen demoliciones previstas desde la etapa de proyecto, resulta mucho más sencillo, pues el presupuesto y la programación se hacen de manera distinta, ya que contemplan alteraciones a los rendimientos y a los avances programados, lo que resulta conveniente y refleja mejor la realidad.

En el caso de la construcción de esta línea, el volumen de demoliciones considerado inicialmente se incrementó en un 60%, lo que da una idea de lo difícil que resulta prever las demoliciones en excavaciones, que fueron las que en esta obra predominaron. Con base en la experiencia, es muy posible que se pueda determinar un factor de demolición durante el proceso de presupuestación, para evitar ajustes posteriores; sobre todo cuando se trate de una obra contratada a precio alzado.

2.3 Determinación, ejecución y cobro de las actividades fuera de proyecto

Si se parte del hecho de que en muchas ocasiones los bandeos viales, las demoliciones no contempladas y los confinamientos se dan de manera imponderable durante el desarrollo de la obra, y de que es necesario llevarlos a cabo de acuerdo a una petición del cliente, de la supervisión, o por orden de alguna autoridad; se debe tener desde el inicio un procedimiento para la determinación, ejecución y cobro de las actividades que se encuentran fuera del proyecto, y que por las causas expuestas no se pueden dejar de ejecutar.

Dado que esto se refiere a imprevistos, es adecuado que se haga un reporte de las actividades extras que se van a generar, que desde luego debe estar conciliado entre la

constructora y la supervisión. En el tramo elevado de la línea B se generaron reportes de estas actividades, en donde se manejaron los siguientes aspectos.

- Justificación de la actividad extraordinaria
- Localización exacta donde se ejecutarán los trabajos
- Cuantificación del volumen a ejecutar
- Actividades asociadas al trabajo principal
- Precio Unitario a aplicar (si existe en el catálogo de conceptos)
- Tiempo estimado de ejecución
- Alteración del programa general de obra por la realización de estos trabajos
- Apoyo fotográfico
- Fecha de inicio

El formato utilizado en esta obra para el registro de los trabajos fuera de proyecto se muestra en la *Figura 2.4*, y aunque es únicamente la primera página, podemos darnos una idea de qué información fue la que se requirió para su elaboración

ICA CONSTRUCCION URBANA	
1. REPORTE DE TRABAJOS EXTRAORDINARIOS Y/O MODIFICACIONES	
HOJA: 1 DE 3	
TIPO DE OBRA :	FECHA :
FRENTE :	CLAVE DEL FRENTE :
1.- DESCRIPCION DEL(OS) TRABAJO(S) EJECUTADO(S) :	
2.- ORDENADO POR	
A.- NOMBRE, CARGO Y EMPRESA :	
B.- FECHA DE LA INSTRUCCION :	
C.- REFERENCIA (ESCRITO, BITACORA, MINUTA, VERBAL, ETC.) :	
3.- AUTORIZADO POR :	
A.- NOMBRE, CARGO Y EMPRESA :	
B.- FECHA DE LA INSTRUCCION :	
C.- REFERENCIA (ESCRITO, BITACORA, MINUTA, VERBAL, ETC.) :	
4.- EJECUCION	
A.- FECHA(S) DE EJECUCION :	
B.- OBRA DE MANO EMPLEADA :	
a - HORARIO DE TRABAJO :	

Figura 2.4

Es evidente que mientras más completo se presentó este reporte durante el desarrollo de la obra, en los casos en que se requirió, hubo menos problemas tanto de pago de los mismos, como de atrasos asociados a estos imprevistos, ya que a la hora de la calificación de programas, se manejaron ajustes para reflejar únicamente los avances y atrasos reales, pues los días perdidos por este tipo de situaciones no son imputables a la constructora, de aquí la importancia de la conciliación previa incluso al inicio de estos trabajos extraordinarios.

Uno de los puntos que es necesario resaltar en lo que se refiere a actividades fuera de proyecto, es que en ocasiones, cuando fueron realizadas sin la conciliación previa, no fueron avaladas por la supervisión, dado que el procedimiento establecido no se estaba respetando, aun cuando la ejecución de los trabajos fuera inminentemente necesaria. Sin embargo, parte de este problema radicó en una comunicación deficiente entre las partes, e incluso en una falta de cooperación.

Los trabajos de este tipo son muy comunes en obras de gran magnitud, por lo que debe establecerse un criterio que las rija desde el punto de vista de ejecución, conciliación y cobro. Lo anterior obedece a que no siempre se pueden conciliar volúmenes durante el desarrollo de la obra, más aún cuando se tienen programas muy apretados, o simplemente demasiado ambiciosos. Es en estos casos en los que la cooperación cobra vital importancia, ya que de esto depende que se pueda avanzar conforme a lo programado, librar los imprevistos, estimar todo lo ejecutado y trabajar bajo un esquema de objetivos comunes.

Ahora, el informe de estos trabajos debe basarse en los puntos ya mencionados, pero quizá debamos pensar en que dar un margen de tiempo para la elaboración del mismo es razonable, siempre y cuando no se exceda el período de estimación en que se pretenden cobrar los volúmenes asociados. Cuando los trabajos no se presentan dentro de una actividad o partida crítica de acuerdo al programa, sería adecuado elaborar previamente el informe, por cuestiones de procedimiento únicamente

- Suelen presentarse tres tipos de actividades fuera de proyecto:

1. Las que se pueden cobrar de manera directa, previa cuantificación, de acuerdo al catálogo de conceptos de la obra.
2. Las que no se encuentran en el catálogo de conceptos como tal, pero que de alguna u otra forma pueden asociarse a alguno de los conceptos que existen en el catálogo, previa cuantificación y establecimiento de los criterios de semejanza.
- 3 Las que requieren de un análisis de precio adicional a la cuantificación, por no poderse asociar a ninguno de los conceptos del catálogo

Vemos que el caso crítico es el número tres, en donde no existe manera de equiparar lo realizado con alguna de las actividades consideradas para el proyecto. Éste fue uno de los problemas que se dio al momento de la estimación de las actividades extraordinarias que se presentaron durante la construcción del tramo elevado de la línea B, y el análisis de los precios unitarios se llevó, en el peor de los casos, hasta tres meses, lo que condujo a la constructora a no realizar actividades que no estuvieran referidas al catálogo de conceptos.

Finalmente, la supervisión y el cliente decidieron que para cada actividad fuera de proyecto que se presentara, cuyos conceptos no tuvieran equivalencias en el catálogo, la constructora debería presentar una cotización de los trabajos, para que se conciliaran volúmenes e importes, procediendo así a la autorización, ejecución y cobro de los mismos.

En el siguiente inciso se hará mención de algunos de los casos más representativos en la construcción del tramo, ya sea por el monto que importaban, o por su recurrencia; siempre haciendo referencia a la determinación tomada en cada ocasión.

2.4 Referencia de los trabajos al catálogo de Precios Unitarios

A continuación se mencionan algunos de los conceptos del catálogo de precios unitarios más utilizados para el cobro de las actividades de esta partida, con su descripción completa y la unidad utilizada para su cuantificación. Cabe mencionar que dentro del rubro de los preliminares, muchos de los trabajos se cobran con base en una equivalencia; es decir, que con el fin de no alterar el tren de trabajo, se valoran aquellas actividades no relacionadas en el catálogo y el importe generado por las mismas se divide entre el precio de alguno de los conceptos contenidos, para proceder al cobro de los mismos.

No.	CONCEPTO	UNIDAD
1	Tala de árboles que incluye derribe, desrame, troceado, recolección, transporte y disposición al lugar indicado por la DGCOSTC.	Pza
2	Demolición de banquetas con medios manuales y / o mecánicos.	M ³
3	Carga a camión y acarreo al primer kilómetro del material producto de la demolición de banquetas.	M ³
4	Acarreo en camión, a kilómetros subsecuentes, del material producto de la demolición de banquetas en zona urbana o suburbana.	M ³ Km
5	Demolición de guarpciones con medios manuales y / o mecánicos.	M ³
6	Carga a camión y acarreo al primer kilómetro, del material producto de la demolición de guarpciones.	M ³
7	Acarreo en camión, a kilómetros subsecuentes, del material producto de la demolición de guarpciones en zona urbana o suburbana.	M ³ Km
8	Demolición manual y / o mecánica de toda clase de elementos de concreto armado.	M ³
9	Carga a camión y acarreo, al primer kilómetro, del material producto de la demolición de elementos de concreto armado.	M ³

No.	CONCEPTO	UNIDAD
10	Acarreo en camión, a kilómetros subsecuentes, del material producto de la demolición de elementos de concreto armado en zona urbana o suburbana	M ³ Km
11	Montaje de puente peatonal provisional de 5.50 m de altura promedio y hasta 60.00 m de longitud, en aquellos lugares donde lo indique la DGCOSTC.	Pza
12	Suministro y colocación de tapial de madera a base de triplay de 19 mm de espesor, polines de 4" x 4" x 8' y barrotes de 4" x 2" x 8', con recubrimiento para intemperie.	M ²
13	Suministro y colocación de lámina pinto para confinamiento, de 2.44 m de ancho x 3.00 m de altura; con recuperación a favor de la contratista	M
14	Suministro y colocación de módulos mixtos de lámina pinto y malla ciclónica de 2.44 m de ancho x 3.00 m de altura; con recuperación a favor de la contratista.	M
15	Fabricación y suministro de boya con varilla de acero corrugado de 3/8", y una base piramidal de concreto de 0.40 m x 0.40 m en la base y una altura de 0.30 m para bandeos y corredores.	Pza
16	Fabricación y suministro de guarnición prefabricada de concreto, con una sección trapecial de 0.20 x 0.15 x 0.30 m; y una longitud de 0.60 m.	Pza
17	Demolición a mano y / o mecánica de carpeta asfáltica, hasta 0.30 m de espesor.	M ³
18	Carga a camión y acarreo al primer kilómetro del material producto de la demolición de carpeta asfáltica.	M ³
19	Acarreo en camión, a kilómetros subsecuentes, del material producto de la demolición de carpeta asfáltica en zona urbana o suburbana.	M ³ Km
20	Suministro y colocación de placa de acero de 1" de espesor para el paso de vehículos, de acuerdo a los bandeos o desvíos que establezca el proyecto	Kg

CAPÍTULO 3 “ Obra Inducida “

Cuando las obras se llevan a cabo dentro de un entorno totalmente urbano, se generan situaciones muy peculiares que caracterizan a esta clase de proyectos, en los que, tanto la etapa de preliminares como la de obra inducida cobran cierta importancia, dados los volúmenes que llegan a manejarse por desvíos, adecuaciones, seccionamientos, y las actividades fuera de proyecto que se van dando durante el desarrollo de estas partidas.

Lo que conduce a la ejecución de la obra inducida, ya sea incluida dentro del proyecto inicial o asignada en campo por parte del cliente y la supervisión, es generalmente la interferencia de líneas de conducción de agua potable, tratada, y negra, con el espacio requerido para la construcción de un proyecto; es decir, se trata de una incompatibilidad de espacio entre lo existente y lo proyectado, que obliga a librar obstáculos físicos a través de adecuaciones. Estas modificaciones pueden preverse, o pueden ser determinadas en campo, para lo cual se requiere el plano autorizado o la conciliación previa de las actividades a realizar. En muchas ocasiones, aun cuando se tiene un plano para cierto desvío, seccionamiento u otra actividad de este tipo, van apareciendo trabajos que no estaban contemplados, y que es necesario llevar a cabo, tales como demoliciones, excavaciones, construcción de cajas y registros, entre otros; incluso, hay casos en que el desvío propuesto por la gente de proyecto para una línea de conducción no es posible debido a que existe alguna otra interferencia para realizarlo. Esto suele suceder por falta de información del sitio, o por la aparición de construcciones recientes en las zonas cercanas a la de interferencia.

Es importante recalcar que durante la fase de proyecto, se realiza en el sitio de la obra, un levantamiento previo de instalaciones denominado *Levantamiento de obras hidráulicas e inducidas*, que consiste en el plantilleo de la infraestructura del lugar, por lo general lo que se hace durante este reconocimiento es abrir, tanto los pozos de visita de los sistemas de aguas negras aledaños, como las cajas de válvulas y cruceros de agua potable y agua tratada, con el fin de determinar, mediante nivelación, las cotas principales que se requieran para la elaboración del proyecto complementario que contendrá los desvíos mediante los cuales se liberará la zona de obra de las interferencias que se detecten. Así mismo, para el caso de las líneas de agua potable y tratada, se realiza un croquis del despiece interior de cada una de las cajas inspeccionadas, donde deben quedar perfectamente definidos los diámetros y trayectorias de la tubería.

En muchas ocasiones, las cajas de registro de agua o los pozos de visita se encuentran totalmente azolvados, o bien las tapas están selladas bajo el pavimento, lo que impide determinar de manera adecuada los cambios de dirección de este tipo de líneas de conducción, y repercute en un levantamiento físico incompleto, que más adelante puede ocasionar, por falta de información, modificaciones sobre los desvíos proyectados.

En la construcción del tramo elevado de esta línea, se llevó a cabo una gran cantidad de desvíos de líneas tanto de agua potable como de agua tratada, así como cancelaciones de atarjeas existentes y construcción de nuevas. De hecho, dentro de lo que se refiere a obra inducida, el mayor monto fue por concepto del desvío de un colector de 1.82 m de diámetro a lo largo de 1.0 km, paralelamente al eje de la línea.

3.1 Zonas de afectación

Se le denomina así a la porción de terreno aledaño que es susceptible de sufrir alteraciones de carácter temporal o modificaciones permanentes, ocasionadas por la construcción de un proyecto ejecutivo y sus obras adicionales, tratándose en este caso de una línea del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano. Por lo anterior, estos espacios no están perfectamente delimitados, y para el caso que se analiza, siempre se ubicaron muy cerca del eje de la línea.

Debido a que cuando se construye una obra de este tipo es inevitable que alrededor de la misma se generen cambios en los esquemas de tránsito sobre las vialidades coincidentes, o alteraciones menores de otro tipo que afectan a vecinos, conductores y transeúntes, se debe tender a crear alternativas de acción para evitar problemas e incomodidad a los que resultan afectados con el desarrollo de estos trabajos, y una de las medidas que se debe tener en cuenta es la reducción de las zonas de afectación, en la medida de lo posible, siempre y cuando la limitación del espacio de trabajo no ponga en riesgo al personal.

Cuando los trabajos de la obra inducida se atacan por etapas, que es lo más común, las zonas de afectación no sólo se reducen significativamente, sino que se restituyen en un lapso de tiempo menor, ya sea que se trate de trabajos asociados a una alteración temporal o a una modificación permanente.

En esta obra, hubo dos zonas de afectación principales, en el tramo elevado:

1. La vialidad coincidente (Av Oceanía, - Av Central)

Obra inducida (desvío del colector de 1.8 m de diámetro y adecuaciones menores a líneas de agua potable, tratada y negra)

2. La terminal de autobuses TAPO y sus calles aledañas

Obra inducida (Instalaciones hidráulicas, sanitarias y de servicio de la estación Sn. Lázaro, desvíos y adecuaciones de las líneas de agua ubicadas dentro del trazo del cuerpo de la misma estación, instalación del drenaje de la obra exterior)

En el siguiente inciso se mencionan algunos de los principales aspectos acerca de las diferentes líneas de conducción modificadas, así como los procedimientos aplicados y las actividades principales que se deben seguir, en general, para fines de obra inducida. No debemos olvidar lo importante que resulta o debe resultar para quien construye, el hecho de optimizar los procesos de trabajo en este rubro, dado que para poder trabajar este tipo de cuestiones, es necesario cortar el servicio a los usuarios del mismo por un cierto tiempo, y si no existe planeación por parte nuestra, tendremos problemas no sólo con el cliente y la supervisión, sino con las autoridades correspondientes.

3.2 Agua potable y agua tratada

El proyecto de desvíos de agua potable se auxilia con la información proporcionada por las dependencias oficiales que tienen a su cargo la infraestructura de agua potable y agua tratada, la cual presenta ciertas deficiencias, ya que se realizó únicamente con documentos de proyecto que fueron entregados antes de la construcción, y por lo mismo no reflejan las modificaciones que se hicieron durante la obra, o posteriormente a ella.

Tomando como base este antecedente, como parte de los trabajos previos a la realización de las obras de desvío, se llevaron a cabo calas de localización, con el fin de garantizar la correcta ejecución de estos trabajos.

La realización de calas atiende a ciertos criterios y depende de la información con que se cuente antes de iniciar una obra de desvío. Sin embargo, como regla general, se recomienda que previo a la adquisición del material a utilizar según el proyecto, se realicen las calas en los sitios propuestos como cruceros, con la finalidad de determinar el tipo de material utilizado, la clase, el diámetro y demás características, para poder proceder así a la autorización del suministro tanto de la tubería, como de las piezas especiales, de acuerdo al despiece requerido.

Las calas se realizaron en forma manual, es decir a pala y pico, para evitar cualquier riesgo de ruptura de aquellas conducciones de asbesto-cemento o PVC. La tubería de las líneas secundarias se encontró a profundidades de entre 0.80 m y 2.50 m, por lo que no fue necesario utilizar estructuras de ademe para estas excavaciones, cuyo propósito principal fue exploratorio.

Previo al inicio de la demolición de la carpeta, en los casos en que fue necesario (vialidades), fue posible realizar un reconocimiento visual del pavimento, para ubicar las franjas que presentaban hundimiento, lo cual permitió determinar trayectorias de manera más sencilla. Cuando esto no fue posible, se determinó la trayectoria de la tubería mediante una simple alineación entre cajas de válvulas próximas, para efectos de establecer los centros de cala.

A partir de estos puntos, se trazaron franjas perpendiculares a la dirección supuesta de la línea, con un ancho de 0.80 m y 0.75 m a cada lado de la misma referencia, tal y como se muestra en la *Figuras 3.1* (planta) y *Figura 3.2* (corte).

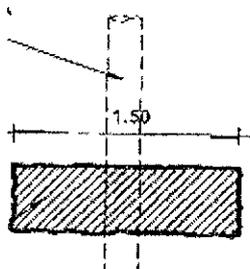


Figura 3.1

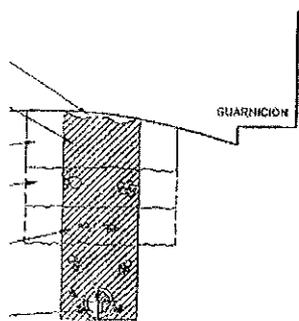


Figura 3.2

Una vez localizada la tubería existente, se referenció topográficamente el eje de la misma, con respecto al eje de la vialidad coincidente, y se determinaron los niveles del lomo del tubo en los puntos calados, para cotejar con los niveles que se tenía en las cajas, y de esta manera, determinar la mejor opción de desvío, con el menor número de piezas especiales anguladas, las cuales producen pérdidas de energía que, aunque pequeñas, son indeseables.

Por todo ello, es posible afirmar que el fin último de las calas es asegurarse de que el desvío es viable física y operativamente, aun cuando no sea precisamente el que se tenía considerado en el proyecto o plano de desvío. Para la obra inducida del Metropolitano línea B, tramo elevado, se tuvo un incremento del 35.30% en los volúmenes adjudicables a este tipo de trabajos, por adecuaciones en campo que no se consideraban necesarias de acuerdo a la información disponible, pero que finalmente hubo que llevar a cabo previa conciliación.

3.2.1 Excavación y tendido de tubería

Una vez corroborada la existencia de la línea a desviar, su diámetro, material, clase y cantidad a utilizar para el desvío, se procede a excavar la zanja para alojar la tubería; las dimensiones de la zanja dependen de las dimensiones propias de la tubería y de los niveles de la red existente en los puntos extremos del desvío, con la condicionante del colchón mínimo de 1.20 m que debe existir como mínimo, al lomo del tubo, desde el paño superior de la carpeta, para el caso de vialidades. Cuando por alguna causa resulta imposible dar esta profundidad mínima, se debe ocupar un carrete de FoFo, para el tramo que lo requiere.

A continuación, en la *Figura 3.3*, se muestra una tabla en la que se pueden observar los parámetros mencionados de acuerdo a las características de la tubería de diseño.

DIAMETRO DE TUBERIA	ANCHO DE ZANJA
4" (102 mm)	0.60 m.
6" (152 mm)	0.70 m.
12" (302 mm)	0.85 m.
20" (508 mm)	1.20 m.
24" (610 mm)	1.30 m.
30" (762 mm)	1.50 m.
36" (914 mm)	1.70 m.
48" (1220 mm)	1.90 m.
72" (1829 mm)	5.00 m.

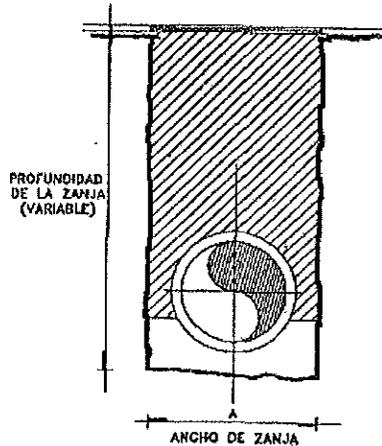


Figura 3.3

La excavación se ejecutó en una sola etapa hasta llegar al nivel máximo de excavación, para cada tramo o tramos de tubería por tender, con un tiempo máximo de 3 días para mantener abierta la excavación. Dado que se observó la presencia de una gran cantidad de instalaciones de todo tipo (eléctricas, telefónicas, hidrosanitarias), se indicó que la excavación debería ser manual, para evitar cualquier percance, y considerar un sobreecho de 30 cm a cada lado, con la finalidad de detectar las interferencias y realizar las adecuaciones necesarias para no afectar la operación vial durante los trabajos de desvío; sin embargo, cabe mencionar que por razones de seguridad, se tuvo que restringir el tránsito a cuando menos tres metros del paño de la excavación, donde se colocó el confinamiento (sobre las Avenidas Oceanía y Central).

Cuando las excavaciones se realizan en terrenos muy sueltos, generalmente producto de rellenos o zonas de arcillas blandas, en los casos en que el nivel freático se encuentra sumamente superficial, o cuando se trabaja en temporada de lluvias, es necesario utilizar sistemas de ademe provisional, cuando la profundidad de las excavaciones rebasa los 2.50 m, o cuando existen manifestaciones de inestabilidad en las paredes de la cepa.

Las estructuras de ademe utilizadas para los desvíos de este proyecto consistieron básicamente en polines verticales de 6" x 6", colocados por pares a manera de puntales a cada dos metros a lo largo de la excavación, y contraventeados con pequeños troqueles del mismo tipo de polín, en dos puntos perfectamente ubicados de acuerdo a la profundidad de la excavación, los marcos formados tienen como función dar soporte a los tablonces que se colocan longitudinalmente sobre las paredes de la cepa, y que realmente hacen la función de contención del material. Este arreglo se puede apreciar con detalle en las Figuras 3.4 y 3.5, en donde se presentan un corte transversal y un corte longitudinal, respectivamente; en el segundo de ellos se observa cómo es que los tablonces utilizados para contener el material, deben colocarse "a hueso", es decir, sin

separación alguna entre ellos, pues ante la presencia de agua en el terreno, existe el riesgo de que el material se licue y con ello se pierda la estabilidad en las paredes de la excavación

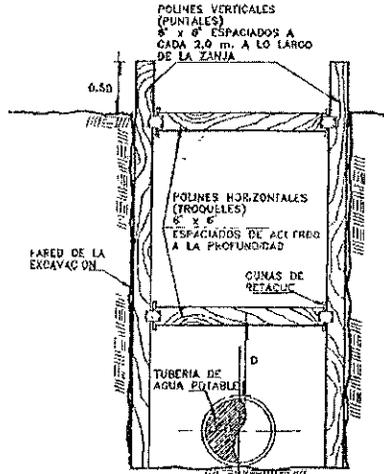


Figura 3.4

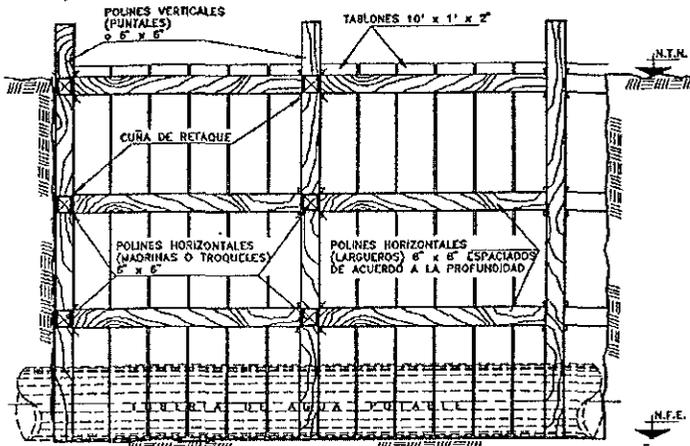


Figura 3.5

Dada la duración de la obra inducida en este proyecto (8 meses), también se trabajó en condiciones menos adversas, y fue posible realizar excavaciones en material que presentaba muy buenas condiciones de estabilidad, donde no fue necesaria la instalación de estructuras de contención en excavaciones de hasta 2.50 m de profundidad.

Una vez que se lograron los niveles de excavación deseados, con base en lo expuesto anteriormente, y después de que se niveló el fondo de la excavación con arena, se instalaron los tramos de tubería en el fondo de la zanja a todo lo largo de ella, alineándolos perfectamente y acostillándolos con tepetate compactado manualmente (con pisón). Una vez fija la tubería, situada de acuerdo al trazo establecido y aceptada en cuanto a las pruebas que aplican al material que la constituye, se relleno en capas de 20 cm de espesor (máximo), compactadas al 95% (mínimo) de la prueba AASHTO estándar, agregando la cantidad de agua necesaria para dar un Valor relativo de soporte de 20%, con la ayuda de compactador mecánico, una vez que se rebasa la primera capa sobre el lomo de tubo. Algunos de los detalles que más se cuidaron durante este proceso fueron los siguientes:

- No rebasar la tolerancia de 3° de deflexión en las uniones de un tramo con otro, cuando se utilizaron juntas Gibault y coples de unión.
- El alineamiento de la tubería debía ser lo más apegado al trazo que fuera posible, tanto vertical como horizontalmente, incluso hubo que calzar la tubería en los casos en que no se cumplían las condiciones de alineamiento que marcaba la especificación.
- Para los cambios de dirección mayores a los 3° de deflexión, no sólo se utilizaron piezas especiales en lugar de piezas de unión simple, sino que también se construyeron atraques de concreto para evitar desperfectos durante el servicio (vicios ocultos).
- Se llevó a cabo inspección visual previa de cada uno de los tramos de tubería a instalar por parte de la supervisión, garantizando así la integridad del suministro y la limpieza del interior del conducto, que diariamente fue protegido en los extremos para evitar la entrada de polvo y demás materiales extraños. Adicionalmente, se exigió que todo tramo de tubería tendido durante la jornada debía ser cubierto por lo menos con 20 cm de relleno, para evitar que fuera dañado por accidente o por actos vandálicos durante la noche.

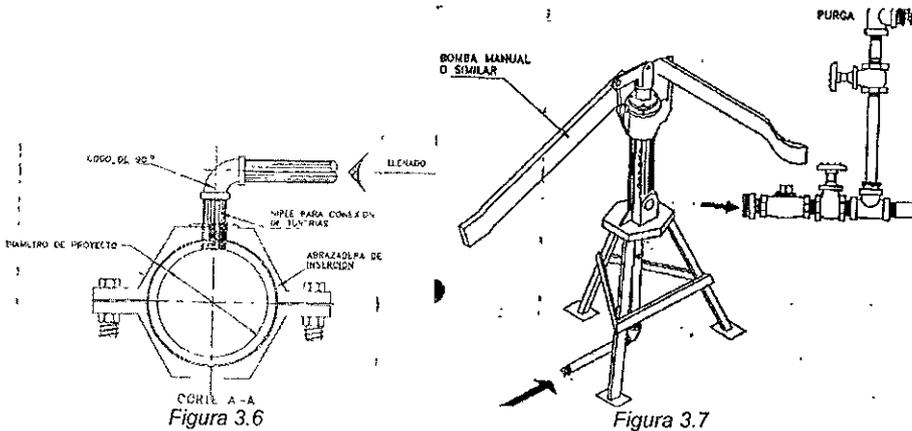
Dentro de lo que se refiere a las tuberías de agua potable y agua tratada que se instalaron como parte de la obra inducida de este proyecto, se aplicaron la prueba hidrostática y la prueba de desinfección principalmente, cuyo desarrollo se describe brevemente a continuación, de acuerdo a lo acotado por las supervisiones de la Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo, asignadas para estos fines, y con estricto apego a lo que marca la D.G.C O.H. para los proyectos de este tipo en la zona metropolitana.

El procedimiento para la ejecución de la prueba hidrostática marca que, una vez tendida la tubería en el tramo de interés (es decir, entre los puntos extremos del desvío), se sellen los extremos con tapa ciega y se garantice la estabilidad de la tubería y, por lo tanto, el

comportamiento adecuado de la misma, ya sea mediante relleno o atraques provisionales de concreto. Una vez hecho esto, se instalan las abrazaderas de inserción y se procede a cargar la tubería, para garantizar la purga completa de ésta; finalmente, se colocan los manómetros de registro en los puntos donde se encuentran las válvulas de inserción mencionadas (Figura 3.6).

Cuando la tubería es de asbesto – cemento se debe prever durante la carga del tramo, un cierto volumen de agua que se absorberá durante el proceso de saturación del material, de tal manera que no se confunda con una baja en la presión generada para fines de la prueba en el interior de la línea. En general, se dejó reposar la tubería cargada por un lapso de 24 horas, antes de iniciar la prueba.

Para la etapa de incremento de presión, el fluido de inyección se suministró mediante una bomba de operación manual que permitiera mayor control (Figura 3.7), evitando así que cedieran los taponamientos extremos a los que ya se hizo referencia. Por otra parte, la medición del volumen de inyección se llevó a cabo con un aforador de gasto medio portátil, mientras que las variaciones de presión se registraron con los manómetros instalados, por periodos establecidos de acuerdo a la clase de la tubería, dentro de un total de seis horas. Los decrementos en la presión fueron causa de revisión de las juntas, para determinar fugas, o en caso contrario, atribuir las deficiencias a una purga deficiente del tramo analizado, o a fallas en la calibración de los dispositivos de medición.



La presión de prueba a la que fue sometida la tubería del proyecto en todos los casos, fue de 1.5 veces la presión de trabajo, por ejemplo, las tuberías clase A-5, diseñadas para trabajar bajo condiciones de presión de 5 kg/cm², fueron probadas hasta una presión de 7.5 kg/cm² durante 30 minutos, asumiendo que el cumplimiento de estas condiciones establece la validez de la prueba, con base en la conciliación entre las partes y aprobación de las lecturas asociadas al tramo sometido

Como ya se mencionó, la realización de la prueba de desinfección también fue obligatoria para la liberación de los tramos de tubería instalados, en lo que se refirió a las líneas de agua potable; y para cumplir con este requerimiento, se aprovechó el llenado o carga descrito de la tubería, para agregar la solución de hipoclorito de sodio con las siguientes características.

- solución: al 13%
- concentración. 50 mg/l (50 p.p.m.)

Una vez aprobada cada una de las pruebas hidrostáticas, se tomaron muestras de aproximadamente medio litro en los extremos del desvío para su análisis en laboratorio, sin vaciar la tubería,. Cuando se cumplieron con suficiencia los valores requeridos por la norma de pH y p.p.m. de hipoclorito, se procedió al vaciado de la tubería y se retiraron los aditamentos de sello y medición, pero en caso contrario, fue necesaria una segunda prueba para garantizar el apego a los parámetros establecidos por el proyecto

Esta clase de labor requiere cooperación entre las partes, dados los imponderables que se pueden llegar a tener con respecto a los tiempos de prueba y condiciones del desvío, además de que, debido a lo delicado que resulta el suministro de agua potable, no existe flexibilidad en los rangos de aceptación.

3.2.2 Seccionamiento

Sin lugar a duda, para realizar el desvío de una línea de agua satisfactoriamente, ya sea tratada o potable, resulta necesario localizarla, definir sus características y ubicar los sitios en donde se unirá con la red existente; a estos puntos extremos del desvío se les denomina secciones de pegue. Estos puntos se ubican generalmente en cruceros o cajas de válvulas, de donde se ha generado el trazo definitivo de la nueva línea, es decir, son el principio y final de la opción generada para la solución de la interferencia.

Los despieces de los cruceros se indican por lo regular en el plano de proyecto; sin embargo, es recomendable que se presenten de manera previa todas las piezas, para revisión y conciliación del material a utilizar en estos puntos de conexión. Adicionalmente, se recomienda armarlos al pie del sitio de colocación, con empaques, tornillos y demás aditamentos perfectamente instalados, revisados y cuantificados, con lo cual se evitan posibles retrasos en las maniobras de pegue.

Es conveniente hacer mención de la importancia que tuvo realizar los ajustes necesarios en el tramo del desvío, para que al momento de que la línea llegara al crucero o caja de válvulas donde se integraría a la red existente, no se presentaran problemas de alineamiento y nivelación, sobre todo porque la supervisión no permitió que, bajo ninguna circunstancia, las válvulas quedaran inclinadas, pues esto repercutió en inconvenientes para el personal de operación hidráulica. Así

mismo, las piezas especiales debieron ser instaladas de tal manera que ninguna de ellas quedara sometida a alguna clase de esfuerzo; debido a esto, los ajustes durante la maniobra de pegue se limitaron únicamente a los tramos de tubo rectos que tuvieron que ser manipulados lo menos posible, para hacer coincidir los niveles del crucero con los de la tubería existente y el nuevo desvío; quedando estrictamente prohibida la instalación de codos que no estuvieran en el despiece, y carretes de tubo de longitud menor a un metro, por las caídas o pérdidas de la carga hidráulica que se deben evitar en la red y que se pueden acentuar debido a estas anomalías. En la Figura 3.8 se presenta el esquema tipo de una sección de pegue.

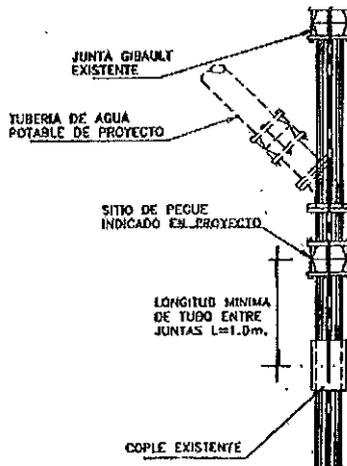


Figura 3.8

Muchas veces, de acuerdo a la normativa de la D.G.C.O.H., es necesario construir cajas intermedias en el tramo del desvío, ya sea para conectar alguna otra línea que se requiera, para dejar preparaciones, o para dejar sólomente disparos provisionalmente cegados, dependiendo de los proyectos de urbanización futuros que se tengan considerados para las zonas aledañas a la obra. Dentro de la obra inducida del proyecto, y particularmente en lo que se refiere a agua potable, se presentaron muchos casos como el que se acaba de mencionar, es por ello que sólo se comentará brevemente el procedimiento que se siguió para la construcción de estas estructuras. Una vez establecidos los niveles de las tuberías a lo largo de todo el desvío, ya sea por proyecto o por determinación directa en campo, se marcaron los lugares en donde habría que construir una caja, por cualquiera de las razones mencionadas en el párrafo anterior. Hecho esto, se procedió a ampliar la excavación de acuerdo a las medidas establecidas en las especificaciones para los distintos diámetros de tubería utilizada, y poder colar una losa de fondo que sirvió como apoyo para el desplante de los muretes perimetrales. Una vez que éstos se llevaron hasta una altura

cercana al nivel de vialidad o banqueta, según correspondió, librando los tubos que entraban a cada una de las cajas, se pudo trabajar limpiamente dentro de ellas, para la instalación de piezas

Las cajas no se cierran hasta después de que se lleva a cabo el pegue, dado que habrá que sustituir los atraques provisionales por atraques definitivos de concreto, que no son elaborados antes para evitar que se dañen con los movimientos de la tubería durante la maniobra. Así pues, la losa tapa se construye previa colocación de los marcos y contramarcos que determinarán su ubicación exactamente encima de los dispositivos de control de flujo para la operación, como se muestra en las Figuras 3.9 y 3.10. Este procedimiento es el más recomendable, ya que para poder restablecer el servicio, es necesario atracar provisionalmente el crucero, aun después de haber colado los atraques definitivos, lo que permite que éstos alcancen su resistencia sin ser sometidos a esfuerzos previos; para ello, en la mayoría de los casos, se calzaron la tubería y las piezas contra las paredes de la caja correspondiente

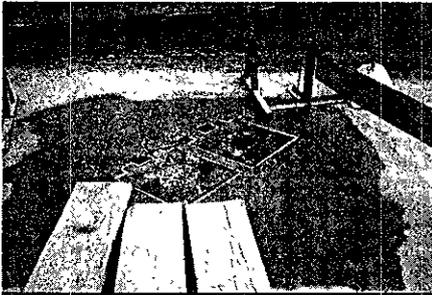


Figura 3.9

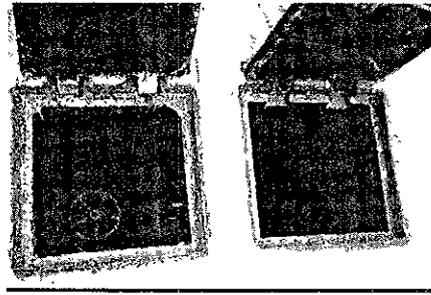


Figura 3.10

Uno de los inconvenientes detectados en este proceso fue que se restringió el espacio de maniobra en el interior de la caja, lo que dificultó los ajustes posteriores al pegue, como el apriete de tornillos, entre otros; pero sólo de esta manera se logró dar el soporte adecuado a los puntos del desvío en donde se presentaban cambios de dirección.

3.2.3 Pegues

Para realizar la maniobra de pegues o conexión del desvío de la línea, el procedimiento obedeció a la siguiente lista de condicionantes.

- Tener totalmente listo el tramo del desvío en lo que se refiere al alineamiento tanto vertical como horizontal, atraques provisionales, cruceros intermedios, rellenos y pruebas aplicables
- Revisión y conciliación previa del despiece de cada uno de los puntos de pegue

- Presentación de un programa de ejecución de la maniobra, especificando tiempos de las tareas parciales, recursos disponibles, personal calificado, y equipo a utilizar; todo esto para cada uno de los puntos de pegue, ya que se debía trabajar de manera simultánea
- Autorización por parte de la supervisión y de la dependencia encargada de la operación de la infraestructura (ya sea de agua potable o tratada).

Una vez que se tuvo todo lo anterior, se solicitó la programación de la maniobra a la dependencia mencionada, con un mínimo de 48 horas de anticipación, y se informó a la supervisión en todos los casos, para realizar la inspección de los trabajos de manera conjunta, con lo que se garantizó el apego a los procedimientos y la conformidad de las partes involucradas.

Una vez autorizada y establecida la hora de inicio de los trabajos, se realizó una revisión dos horas antes del alineamiento del desvío, para decidir de manera definitiva si se procedía o no al cierre de las válvulas aledañas a ese tramo de tubería, ya que por ningún motivo se permitía hacerlo, si faltaba alguno de los materiales, o si se detectaba alguna irregularidad en las estructuras de apoyo o atraques.

Dada la orden del cierre de válvulas, se procedió a romper el tubo existente para desfogarlo; el agua se canalizó hacia algún drenaje cercano o a un cárcamo de bombeo exclusivamente preparado para este fin, extrayéndola mediante un equipo de bombeo previamente solicitado por la supervisión. Se verificaba entonces que el cierre de válvulas fuera total, es decir, que no existiera aportación alguna de conexiones irregulares no detectadas. A continuación se procedía al corte del tubo existente, hasta el punto que se tenía planeado de acuerdo al crucero armado por colocar, el cual se bajaba posteriormente hasta el nivel requerido y se calzaba para llevar a cabo la conexión. Durante este proceso, se prestaba atención al correcto ensamble, a la instalación de todos los empaques requeridos, y al apriete de tuercas en las bridas de forma alternada, con lo que se evitaron uniones defectuosas en la medida de lo posible.

El tiempo máximo otorgado para estas maniobras fue de 8 horas; sin embargo, hubo ocasiones en que se requirió más tiempo, pero gracias a la revisión colectiva de los trabajos no existió mayor problema, pues tanto la supervisión como la dependencia fueron testigos de las condiciones extraordinarias que ocasionaron los retrasos, dado que por lo regular, los pegues no requirieron más de seis horas, aunque el restablecimiento del servicio fue casi siempre de 8 horas, para dar un margen de cotejo final de los trabajos, lo cual resultó sumamente benéfico.

3 2 4 Restablecimiento del servicio

Una vez construidos los atraques definitivos, para restablecer el servicio se colocaron atraques provisionales de polines o tubo de acero, como ya se explicó, dependiendo del diámetro de la tubería y de la presión manejada. Finalmente, se revisó la compactación del relleno entre la caja y el terreno natural, para garantizar la estabilidad de los puntos clave dentro del desvío.

mejorando en lo posible las condiciones de soporte y transmisión de empujes. Esta revisión final también es conjunta, ya que de ella depende tanto el restablecimiento del servicio (apertura de válvulas), como el ajuste de detalles. Es así como los trabajos concluyen con el colado de las losas tapa y la colocación de los rellenos faltantes que no se habían hecho por motivos de revisión de juntas.

3.3 Alcantarillado

Como parte de los trabajos referentes a la obra inducida del proyecto del Metropolitano Línea B, el desvío de atarjeas que interferían con el trazo de los apoyos del viaducto elevado, atendió al procedimiento que se expone a continuación de manera general, y de acuerdo a la especificación aplicable, emitida por la D.G.C.O.S.T.C.

Inicialmente, se trazó en campo la geometría de los ductos existentes, previa revisión de los pozos de visita; a continuación se marcaron los trazos de los desvíos proyectados, para ver la factibilidad de los mismos en condiciones reales, y así determinar si era posible realizarlos, o si era necesario generar opciones alternas, apegadas lo más posible a lo que se tenía proyectado. Esta determinación atendió no sólo a factores ligados con las interferencias que se encontraban en el trazo, sino también se vieron involucrados factores de carácter operativo y constructivo, dada la ubicación de muchos de estos desvíos y su cercanía con las vialidades coincidentes.

La verificación topográfica de niveles fue una de las actividades que mayor cuidado requirió, ya que se trataba de conducciones a gravedad; fue por ello que en muchas ocasiones hubo que hacer alguna adecuación a lo proyectado, dado que las normas aplicables son sumamente estrictas en lo que se refiere a pendientes mínimas y distancias máximas entre pozos de visita. Todo trabajo no contemplado se concilió previamente con la supervisión y el cliente, ya que la construcción de un pozo de visita extra, por ejemplo, realmente influye en el presupuesto inicial de estos trabajos.

Una vez trazado el desvío definitivo, se descubrieron los sitios identificados como cruceros de conexión, para encontrar la tubería existente, y a partir de ahí, poder determinar la profundidad de la zanja a excavar, así como el ancho y sobre ancho de la misma, respetando la trayectoria definitiva que se había establecido.

Con el suministro de la tubería en obra, y sólo entonces, se procedió a la excavación de la cepa a cielo abierto, realizada con equipo ligero y de aguas abajo hacia aguas arriba, es decir, del pozo de llegada al pozo de salida. La excavación, así como las obras de desvío de agua potable, se realizaron en una sola etapa hasta alcanzar el nivel definido como máximo de la excavación, el cual contempló un colchón mínimo sobre el tubo de 0.90 m, dependiendo del diámetro de éste. Debido a los problemas de pendiente mínima entre los pozos de un desvío, que se presentaron frecuentemente, la supervisión estableció que los últimos 30 cm de excavación de la cepa se

hicieran de manera manual, con lo que se evitó el remoldeo del material del fondo, y por consiguiente, posibles variaciones en las limitadas diferencias de niveles que se manejan.

Una vez terminada y afinada la excavación, se trató de que permaneciera abierta el menor tiempo posible, es por ello que se excavó una longitud igual a la que se pudiera tender de tubería por turno, con lo que se intentó cumplir el requerimiento que marca la especificación del proyecto en este apartado. Cuando se llegaron a presentar grietas longitudinales paralelas a la excavación, lo que se hizo fue tender el talud mediante afine, y se llegó a requerir la elaboración de bermas para estabilizar excavaciones de más de 2.50 m de profundidad, aunque para cepas de más de 1.80 m se exigió la instalación de estructuras de contención del terreno, aun cuando las condiciones del mismo no lo ameritaran, simplemente se aplicó la especificación, para garantizar el cumplimiento de la norma. Estas estructuras obedecen a los mismos principios y procedimientos que los descritos para excavaciones, cuando se habló acerca de desvíos de tubería de agua potable y tratada, con la diferencia de que en los desvíos de atarjeas se llegan a manejar profundidades de excavación considerablemente mayores.

Una vez afinado el fondo de la excavación, se procedía a colocar una cama de gravilla de tezontle en todo el ancho de la zanja, con un espesor acorde a los niveles establecidos; de hecho es este material el que ayuda a nivelar y a alinear horizontalmente la tubería, pues se acomoda con equipo vibratorio ligero, e incluso se utiliza para acostillar la tubería hasta que quede perfectamente confinada y fija, hasta alcanzar una densidad relativa del 95%.

Una vez inmovilizados los tubos, se rellenaba la zanja hasta el nivel de desplante de los pavimentos, cuando se trabajó en desvíos que coincidían con vialidades. El relleno utilizado fue tepetate compactado en capas de 20 cm de espesor al 95% de la prueba AASHTO, es decir, fue necesario garantizar un valor relativo de soporte de 20%, por lo que se requirió un control de las condiciones de humedad, bastante estricto y muy difícil de establecer con el nivel de aguas freáticas que se encontró en la zona del proyecto, pues era sumamente variable entre puntos cercanos. Cuando no había vialidades aledañas, el colchón mínimo para el tendido de tubería se redujo considerablemente, sobre todo para tramos cercanos a pozos cabeceros (*Figura 3.11*)

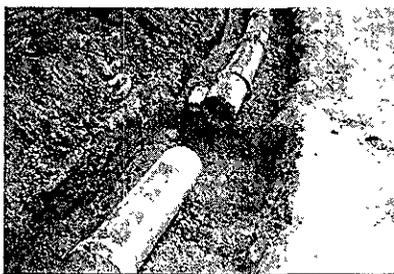


Figura 3.11

Las conexiones de la tubería con los pozos de visita constituyeron un trabajo simple de albañilería, en el que únicamente hubo que cuidar que se garantizara el sello de los boquetes que se necesitaron hacer y el pulido en el interior de los pozos, para cumplir con la especificación

3.3 1 Alteración del régimen hidráulico.

La alteración del régimen hidráulico se planeó de acuerdo al número de desvíos que se requirió llevar a cabo en una misma zona, dado que no es posible cancelar un tramo sin tener listo el nuevo desvío. Además, fue necesario ver qué clase de tubería se tenía en cuanto al gasto conducido, para ver la hora en que se presentaban tanto el gasto pico como el gasto mínimo, máxime tratándose de aguas residuales, pues el derramamiento de éstas en terreno natural está reglamentado y pone en peligro la contaminación del agua que conducen líneas de agua potable o mantos freáticos que se encuentren por debajo del sistema de alcantarillado

Así es como para cada tramo de desvío ejecutado se requirió verificar el sello perfecto de las conexiones con los pozos de visita existentes, y entre los tramos de tubo instalados. Esta inspección fue ejecutada por la dependencia autorizada, la supervisión y la constructora. Posteriormente, se cancelaron las líneas existentes en un horario programado de manera conjunta, se taparon las conexiones antiguas, y se probó el funcionamiento de las nuevas con agua agregada de manera intencional

Cuando hubo limitaciones en los niveles establecidos durante la elaboración del desvío, esta verificación del sistema a gravedad se realizó antes de la alteración del régimen hidráulico, para evitar la suspensión innecesaria del funcionamiento de la línea por falta de planeación. La tubería existente se dejó en su lugar, y se rellenaron las cepas abiertas que aún se tenían, quedando así concluido el proceso y restablecido el servicio.

3 3 2 Extracción de colectores

Los colectores son considerados como instalaciones municipales profundas, dado que el tomo de éstos se encuentra por debajo de la mayoría de los niveles de desplante de las edificaciones más comunes, sin embargo, para el caso de la construcción del tramo elevado de la Línea B, se presentaron ciertos problemas desde la etapa de proyecto, dado que aun cuando el tomo del colector interfirió en muy pocas ocasiones con el nivel de desplante de los cajones de cimentación, la interferencia que éste causaba a la trayectoria de los pilotes fue lo que llevó a la determinación de extraer de manera definitiva este colector de 1.83 m de diámetro, en una longitud de aproximadamente 1.3 km, como parte de la obra inducida del proyecto, dado que su coincidencia con el eje de trazo de la línea se prolongaba más allá de un intertramo entre las estaciones Gran Canal y Romero Rubio, desde la planta de bombeo número 2 hasta la calle de Marruecos sobre la Av. Oceanía.

Evidentemente, fue necesario llevar a cabo el desvío del colector de manera paralela, pero a 18 m de distancia del eje original, de manera previa a la ejecución de la obra civil

Inicialmente, se habían considerado tres posibles soluciones para liberar la interferencia:

- En cuanto a las zapatas, cuyas líneas de pilotes no tuvieran interferencia directa con la proyección del colector en planta, se pensó en ejecutar los trabajos conforme a proyecto, sin consideraciones adicionales
- Para aquellas zapatas que por proyecto consideraban una línea central de pilotes, se pensó en la posibilidad de crecer la dimensión del cajón en dirección transversal al eje de trazo, aumentando una línea más de pilotes hacia cada lado (a 1.2 m de distancia), pudiendo así prescindir de la línea central.
- Por último, la excavación para el retiro del colector, la demolición del mismo, la extracción del producto de la demolición, el relleno y la aplicación de la solución de la cimentación en condiciones normales

Se generó también una alternativa combinada en la que se contemplaba una inspección previa a la construcción de cada uno de los apoyos, de tal forma que se pudiera decidir en sitio el camino a seguir de acuerdo a los tres casos propuestos, pero el cliente optó por autorizar la tercera opción bajo el criterio de concentrar esfuerzos en tareas específicas y no arriesgarse a que se generara el cobro de tiempos muertos de equipo y maquinaria de pilotaje ante situaciones de incertidumbre y toma de decisiones apresuradas, que se podían evitar ya durante la etapa de construcción. En la *Figura 3.12* se puede observar como se trabajó la alternativa seleccionada



Figura 3.12

Sin duda, esta decisión fue acertada, ya que una vez resuelta la solución del desvío del colector, se pudo trabajar de manera continua con muy pocas interferencias adicionales, y quizá de otra manera estas interferencias habrían sido aducidas a la presencia del colector de manera directa, lo que habría llevado a la duplicación de tareas y a una gran cantidad de cambios de dirección en la trayectoria del colector a lo largo del tramo de interferencia, lo que hidráulica y operativamente no hubiera sido adecuado.

3.4 Desvío de otro tipo de líneas e instalaciones

Durante la realización de los desvíos de agua potable, agua tratada, atarjeas y demás, que se han comentado, con las excavaciones generalmente se localizan también otra clase de instalaciones municipales como pueden ser líneas de teléfono, cableado eléctrico, ductos de gas, e incluso otras líneas como las que se están desviando, que fueron instaladas en un momento dado bajo ciertos esquemas de irregularidad, ya que no se tienen registradas dentro de los archivos de la dependencia de gobierno que brinda el apoyo para la construcción de estas obras. Desafortunadamente, éstas interfieren transversal o longitudinalmente con la trayectoria de los desvíos planeados, o con los trabajos asociados directamente a la obra civil.

Respecto a la interferencia con tuberías de drenaje, por ningún motivo se permitió que los tubos de agua potable quedaran por debajo de los tubos que conducen aguas residuales, ni que estuvieran alojados en la misma zanja. Si en la excavación para alojar la tubería de agua potable se llegaba a localizar una atarjea cruzando transversalmente, se verificaba la posibilidad de ubicar esta última y su tramo asociado, a una mayor profundidad, y cuando no fue posible, fue necesario librarla mediante un "by pass" o sifón invertido en el plano vertical, aprovechando que se trataba de una tubería a presión (Figura 3.13). En ocasiones, se presentó el caso de la instalación de tuberías paralelas de drenaje y agua potable, para lo cual se resolvió alojar la de agua potable en una berma superior y adyacente al tubo de drenaje, garantizando que se libran los pozos de visita de la atarjea.

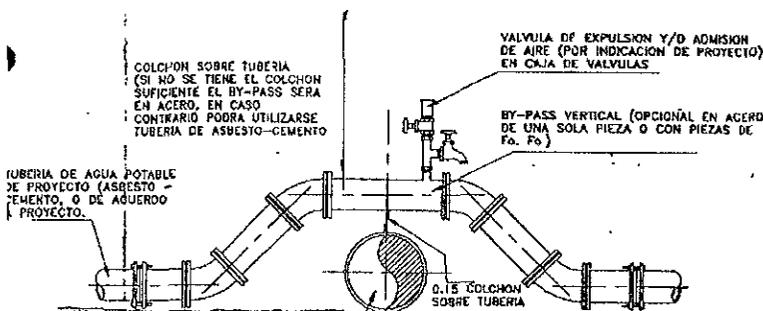


Figura 3.13

Los ductos de teléfono generalmente se encontraron a una profundidad de 1.50 m, y para las reestructuraciones de orden vial que se requirieron, fue necesario plasmar en el pavimento la trayectoria de éstas, para detectarlas fácilmente antes de iniciar cualquier excavación, pues se trata de instalaciones sumamente delicadas que fue necesario colgantear cuando representaron una interferencia transversal para cualquiera de los desvíos. Dependiendo de las dimensiones de la cepa a excavar, en algunos casos se tuvo que construir una galería de soporte para el cableado telefónico existente antes de iniciar los trabajos propios del desvío, pues este servicio no puede ser interrumpido por ninguna circunstancia.

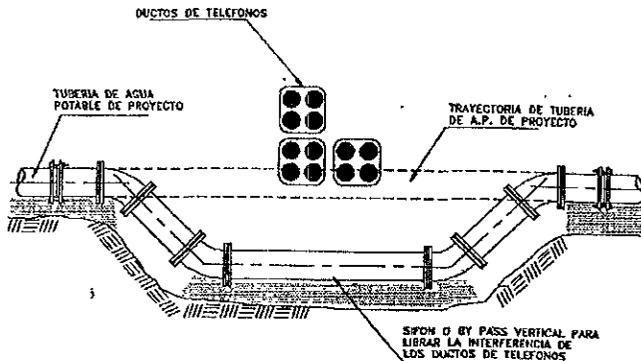


Figura 3 14

Para los cableados eléctricos y ductos de PEMEX que llegaron a detectarse como obstáculos para el adecuado desarrollo de las actividades, la notificación a las autoridades y dependencias correspondientes no sólo fue obligatoria, sino también fundamental, ya que además de que se obtuvo la autorización respectiva, también se obtuvo asesoría en cuanto a los procedimientos especiales que se tuvieron que aplicar, dado que se trata de actividades de alto riesgo, tanto para quien ejecuta los trabajos, como para quienes dependen del servicio de estas líneas.

Como puede verse, el registro de las distintas interferencias encontradas durante la ejecución de la obra es de suma importancia, ya que es indispensable retroalimentar a los proyectistas con el fin de verificar otras posibles situaciones similares relacionadas con proyectos posteriores o con la obra misma.

3.5 Referencia de los trabajos al catálogo de Precios Unitarios

Dependiendo del tipo de desvío, los trabajos a desarrollar fueron distintos; sin embargo, a continuación se enlistan de manera muy general los conceptos más recurrentes al momento del

cobro de estas actividades. No se enlista el suministro e instalación de todas y cada una de las piezas especiales, para evitar extender esta relación innecesariamente.

No.	CONCEPTO	UNIDAD
1	Corte con disco en carpeta asfáltica o concreto, hasta 0.15 m de espesor	M
2	Excavación en cepa por medios manuales y / o mecánicos para alojar tubería; volumen medido en banco, e incluye carga a camión y acarreo al primer kilómetro	M ³
3	Acarreo en camión a kilómetros subsecuentes del material producto de excavación en cepa, en zona urbana o suburbana	M ³ Km
4	Polines y tablonces para conformación de ademes en protecciones de paredes de excavación	P/U
5	Suministro y colocación de cama de arena azul en asiento de tubería, de 0.05 m de espesor	M ²
6	Suministro y colocación de gravilla de tezontle en acostillamiento de tubería, con diámetros máximos de ½"	M ³
7	Suministro y colocación de tepetate para relleno en cepas, compactado al 90% de la prueba Proctor	M ³
8	Suministro y colocación de sub-base de grava controlada de 0.20 m de espesor, compactada al 95% de la prueba Proctor	M ³
9	Suministro y colocación de base de grava cementada controlada de 0.15 m de espesor, compactada al 95% de la prueba Proctor	M ³
10	Suministro y colocación de carpeta asfáltica de 0.10 m de espesor, incluye riego de impregnación, nego de liga y sello de cemento	M ²
11	Suministro y colocación de tubería de asbesto-cemento de X" de diámetro, clase A-X; incluye pruebas	M
12	Suministro, colocación y pruebas de codo de FoFo a 45° de X" de diámetro	Pza
13	Suministro, colocación y pruebas de codo de FoFo a 90° de X" de diámetro	Pza
14	Suministro, colocación y pruebas de tee de FoFo de X" de diámetro	Pza
15	Suministro, colocación y pruebas de extremidad de FoFo ° de X" de diámetro	Pza
16	Construcción de atraque de concreto para tubería de X" de diámetro, con concreto de F'c=150 kg/cm ²	Pza
17	Construcción de caja de válvulas para tubería de agua potable o tratada, con profundidad promedio de 1.55 m, tipo 1-1-A, y sección de 1.56 x 1.56 m de acuerdo al proyecto	Pza
18	Pegue de tubería de agua potable o agua tratada, incluye todos los implementos para su correcta ejecución, a excepción de las piezas especiales no contempladas en el despiece previo	Pza
19	Suministro, colocación y pruebas de tubería de concreto simple de X cm de diámetro	M
20	Construcción de pozo de visita común de X m de profundidad de acuerdo a lo que indique el proyecto, incluye suministro de materiales, escalones de FoFo y brocal tipo pesado.	Pza
21	Suministro y colocación de registro de mampostería a base de tabique rojo recocido; incluye tapa de concreto, marco y contramarco metálico, de 1.20 x 1.20 x 0.40 m	Pza
22	Concreto hidráulico simple de f'c=150 kg/cm ² , con tamaño máximo de agregado de ¾", para restitución de banquetas	M ³
23	Suministro y colocación de tepetate para nivelación de terreno en restitución de banquetas	M ³

CAPÍTULO 4 “ Pilotaje “

Este capítulo abarca aspectos técnicos y prácticos relacionados con los trabajos de cimentación profunda llevados a cabo durante la construcción del tramo elevado de la línea B del Metropolitano; desde los estudios previos hasta el procedimiento que se siguió. Así mismo, se incluyen especificaciones de material que son aplicables a otros capítulos en cuanto a normas, ya que otras de las características varían según la etapa de estructuración.

4.1 Aspectos fundamentales del estudio de Mecánica de Suelos

Dado que una gran parte de la Ciudad de México se encuentra situada sobre lo que antiguamente fue el Lago de Texcoco, el suelo presenta características especiales que deben ser consideradas para la realización de un estudio de mecánica de suelos.

El Valle de México se caracteriza por haber tenido una intensa actividad volcánica en el pasado. Los numerosos estudios que a la fecha se han realizado nos permiten zonificar la ciudad en tres grandes áreas desde el punto de vista de la estratigrafía:

□ Zona I

Conocida también como zona de Lomas, está constituida por terrenos compactos limo - arenosos, con alto contenido de grava en contadas ocasiones. En general, puede decirse que se trata de un área cuyo suelo presenta condiciones propicias para el desplante de estructuras sin mayor problema en el diseño de la cimentación; dada la alta capacidad de carga del terreno, los asentamientos registrados son mínimos. El único problema que se llega a dar es la presencia de cavernas y depósitos eólicos de arena fina, *sumamente inestables*

□ Zona II

Esta zona, denominada de transición, se presenta entre las serranías del poniente y el fondo de lo que llamamos el Lago, aquí las condiciones del subsuelo desde el punto de vista estratigráfico, varían en gran medida de un punto a otro. Principalmente se trata de depósitos superficiales limo - arcillosos y orgánicos situados sobre arcillas volcánicas muy compresibles, de espesores variables, lo que ocasiona dificultades en lo que se refiere a asentamientos diferenciales.

□ Zona III

La zona del Lago, como normalmente se le conoce, es la que presenta las condiciones más adversas para la edificación en general. Principalmente se trata de depósitos superficiales limo-arcillosos con rellenos artificiales de hasta 10 m de espesor, arcillas de origen volcánico

altamente compresibles con lentes de arena intermedios y estratos de arena con grava y materiales limo-arcillosos sumamente compactos, que conforman la primera capa dura a una profundidad promedio de 33.0 m

El trazo del tramo elevado de la línea B del metro, se encuentra dentro de la denominada zona III, y a causa de ello, se llevaron a cabo estudios de la estratigrafía del subsuelo, para poder determinar la solución más adecuada en lo que a cimentación se refiere, adoptando los cajones piloteados como la mejor opción.

4.1.1 Perfil estratigráfico

El perfil estratigráfico que se muestra en la *Figura 4.1* permite ver la alta compresibilidad del suelo que subyace la cimentación del tramo elevado, ya que está compuesto principalmente de arcillas, a excepción de la capa dura que se tomó como base para el cálculo de la longitud de los pilotes hincados, y que está compuesta por material limo-arenoso con un espesor aproximado de 2.0 m

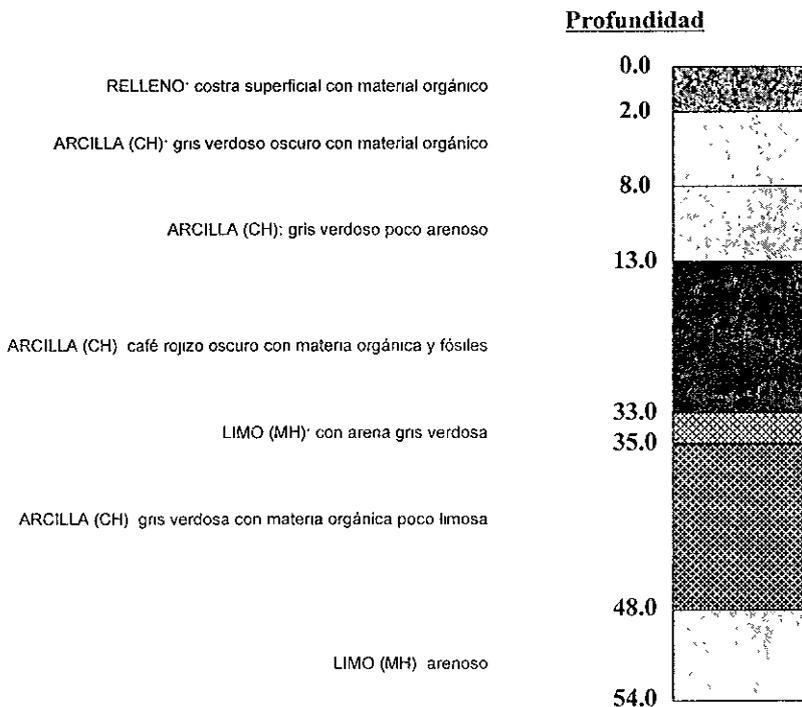


Figura 4.1

De acuerdo a la determinación de este perfil, y a la longitud de los pilotes utilizados, es posible ver que el colchón considerado entre la punta de los elementos de cimentación profunda y la capa dura varió dentro de un rango de 3.0 y 4.0 m, pues la velocidad de asentamiento esperada en esta zona es de 8.5 cm anuales.

Entre otros de los estudios de este tipo, que se llevaron a cabo para la construcción de este proyecto, son importantes el sondeo selectivo y el diagrama de esfuerzos efectivos.

Sondeo selectivo

Con el perfil estratigráfico como primera referencia, se llevó a cabo el sondeo selectivo (Figura 4.2), que nos permite conocer mejor las condiciones del suelo sobre el cual se va a cimentar

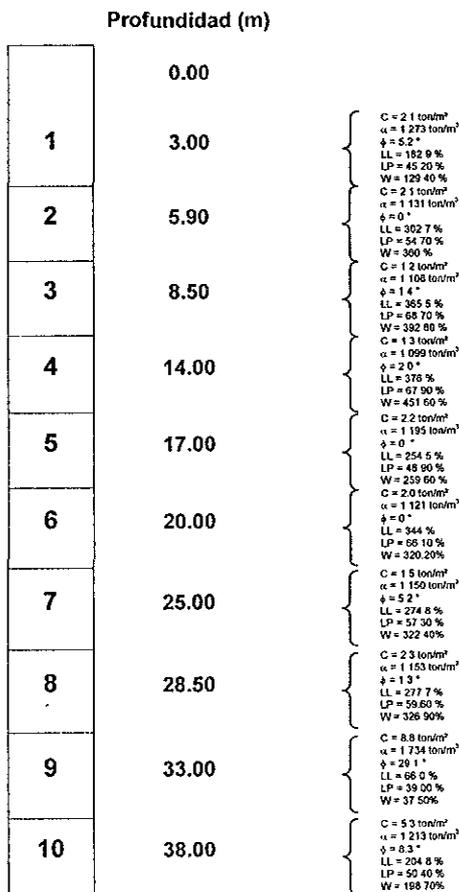


Figura 4.2

El objetivo principal de este estudio es tener toda la información necesaria para poder pronosticar el comportamiento del suelo antes, durante y después de la etapa de construcción de la obra civil, evitando así que se excedan los límites establecidos tanto por el reglamento, como por las especificaciones del proyecto, para cada uno de los parámetros siguientes.

- Capacidad de carga (C)
- Peso volumétrico (γ)
- Ángulo natural de reposo (ϕ)
- Límite líquido (LL)
- Límite plástico (LP)
- Contenido de agua (W)

Diagrama de esfuerzos efectivos

La determinación del Nivel de Aguas freáticas es de suma importancia para establecer relaciones entre los esfuerzos que se presentarán en el suelo y su capacidad de carga, ante la presencia de nuevas edificaciones.

Los esfuerzos efectivos del suelo dependen de manera directa de este factor, de acuerdo a la ecuación de Terzagui* que se expone a continuación

$$\text{Esfuerzo efectivo vertical} = \text{Esfuerzo total vertical} - \text{Presión hidrostática del agua}$$

$$r = P - U$$

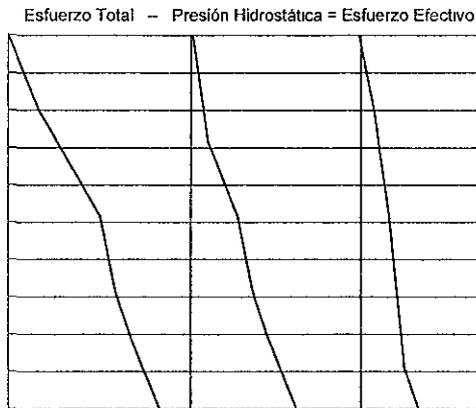
Es así como se genera el siguiente juego de gráficas (*Figura 4.3*), que atiende a características propias de cada uno de los estratos de suelo, a su espesor, a las profundidades, y al nivel de aguas freáticas que predominó a lo largo del tramo.

- r = Esfuerzo efectivo vertical
- P = Esfuerzos totales verticales
- U = Presión hidrostática del agua
- D_p = Esfuerzos asociados al estrato (parciales)
- D_z = Espesor del estrato
- γ = Peso específico del estrato

* Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez Eulalio; Mecánica de suelos, Tomo II; *Teoría y aplicaciones de la Mecánica de Suelos*, Editorial Limusa, México 1987.

γ_m (t/m^3)	D_z (m)	D_p (t/m^2)	P (t/m^2)	U (t/m^2)	r (t/m^2)	Prof (m)
1.273	3.00	3.819	3.819	1.20	2.619	3.0
1.131	2.90	3.280	7.099	4.10	2.999	5.9
1.108	2.60	2.881	9.980	6.70	3.280	8.5
1.099	5.50	6.045	16.025	12.20	3.825	14.0
1.195	3.00	3.585	19.610	15.20	4.410	17.0
1.121	3.00	3.363	22.973	18.20	4.773	20.0
1.150	5.00	5.750	28.723	23.20	5.523	25.0
1.153	3.50	4.036	32.759	26.70	6.059	28.5
1.734	4.50	7.803	40.562	31.20	9.362	33.0
1.213	5.00	6.065	46.627	36.20	10.427	38.0

Figura 4.3



4.1.2 Especificaciones

Una vez mencionados los estudios previos para determinar el tipo de cimentación más adecuada, se hará referencia a los trabajos que se llevan a cabo para conocer los desplazamientos verticales, tanto de las obras inducidas como de las edificaciones adyacentes a la zona de obra.

De acuerdo a lo que marcan tanto la Especificación General para la Construcción del Metro en la Ciudad de México, como las Especificaciones de Mecánica de Suelos para la Construcción del Metropolitano Línea B, se llevaron a cabo acciones de "monitoreo" e instrumentación para registrar el comportamiento de las construcciones colindantes ante la presencia de nuevas estructuras. El objetivo de esto fue medir y registrar los asentamientos que se dieron tanto en el viaducto como en las construcciones próximas a éste, con la ayuda de referencias cuyo nivel se verificó periódicamente de acuerdo a la actividad registrada, de tal forma que los diferenciales obtenidos en el periodo de medición no rebasaran el máximo permisible de un centímetro. Estos lapsos entre registro y registro se fueron adecuando sobre la marcha hasta que se logró calendarizar la instrumentación, llegando a establecer revisiones semanales durante el periodo de construcción. Para el monitoreo posterior a la obra, se tienen planeadas verificaciones semestrales, según lo indicado por la supervisión del cliente.

4.1.3 Recomendaciones

Además de lo que marcaban las especificaciones, se siguieron algunas otras recomendaciones hechas por los ingenieros proyectistas del área de mecánica de suelos, aunque

en muchas ocasiones las situaciones de campo no lo permitían, y fue necesario aplicar los procedimientos especiales existentes, o los solicitados por la constructora a la proyectista.

- Se consideró como área de influencia, la zona que rodeaba una excavación hasta una distancia igual a 1.5 veces la profundidad, tomada desde el paño de la misma
- La estiba de pilotes al pie de las excavaciones nunca debió quedar dentro de esta área de influencia.
- De haber obras inducidas aledañas a la excavación de zapatas, había que construir encofrados para protegerlas y evitar deformaciones en ellas, ocasionadas por empujes pasivos del suelo.
- Para las estructuras de contención en las paredes de una excavación, se respetó el flujo de agua en la masa de suelo, abatiendo el Nivel de Aguas Freáticas e incorporando nuevamente el agua bombeada.

4.2 Prefabricación en planta

La fabricación de pilotes se llevó a cabo en la planta de prefabricados de la constructora, para ser transportados posteriormente al sitio de hincado en plataformas, con un control estricto en lo que se refiere al izaje de las piezas durante la carga y descarga, para garantizar la integridad de las mismas.

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos, los pilotes se fabricaron en dos tramos de 14 m, lo que nos da una longitud total de 28 m; las dimensiones de la sección fueron 0.40 x 0.40 m para todos los pilotes utilizados a lo largo del tramo elevado de la línea.

4.2.1 Especificaciones de diseño

Los pilotes fueron fabricados de concreto armado de acuerdo a las especificaciones de diseño que a continuación se presentan, y que además son aplicables al concreto armado de todos los elementos a construir, con algunas diferencias exclusivas en la resistencia del concreto según la fase de estructuración de que se tratase:

- El concreto utilizado para los pilotes correspondió a una f_c de 250 kg / cm², elaborado con cemento Portland tipo II, de acuerdo con las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas aplicables en lo que se refiere al almacenamiento, inspección y muestreo, las cuales se enlistan a continuación:

ALCANCE Y REFERENCIA	NORMA
Requisito de las cribas	NOM – B – 231
Cemento Portland	NOM – C – 1
Determinación de la finura de los cementos hidráulicos, a través del tamiz No. 130	NOM – C – 49
Determinación de la finura de los cementantes hidráulicos, a través del método de permeabilidad al aire	NOM – C – 56
Determinación de la consistencia normal en cementantes hidráulicos	NOM – C – 57
Determinación del tiempo de fraguado de los cementantes hidráulicos (VICAT)	NOM – C – 59
Determinación de la resistencia a la compresión de los cementantes hidráulicos	NOM – C – 61
Determinación de la sanidad de los cementantes hidráulicos	NOM – C – 62
Muestreo de los cementantes hidráulicos	NOM – C – 130
Determinación del análisis químico del cemento hidráulico	NOM – C – 131
Determinación del fraguado falso de cemento Portland por el método de la pasta	NOM – C – 132
Coadyuvantes de molientes, empleados en la elaboración de cementos hidráulicos	NOM – C – 133
Determinación del calor de hidratación de los cementantes hidráulicos	NOM – C – 151
Muestreo para la inspección por atributos	NOM – Z – 12

- Los agregados utilizados cumplieron con las especificaciones señaladas también por las Normas Oficiales Mexicanas que a continuación se muestran:

ALCANCE Y REFERENCIA	NORMA
Agregados para concreto	NOM – C – 111
Partículas menores que la malla No. 200	NOM – C – 84
Requisitos de las cribas para la clasificación de materiales	NOM – B – 231
Muestreo de agregados	NOM – C – 30
Método de prueba para determinar terrones de arcilla en agregados naturales	NOM – C – 71
Determinación de partículas ligeras en agregados	NOM – C – 72
Determinación de peso unitario en los agregados	NOM – C – 73
Determinación del efecto de las impurezas orgánicas en los agregados finos sobre la resistencia de los morteros	NOM – C – 76
Métodos de prueba para análisis granulométricos de agregado fino y grueso	NOM – C – 77

ALCANCE Y REFERENCIA	NORMA
Determinación del peso específico y la absorción del agregado grueso	NOM – C – 164
Determinación del peso específico y la absorción del agregado fino	NOM – C – 165
Determinación del contenido total de humedad de los agregados mediante secado	NOM – C – 166
Examen petrográfico de los agregados para concreto	NOM – C – 265
Agregados, reactividad potencial (Método químico)	NOM – C – 271

Se requirió autorización directa del cliente y la supervisión, en lo que se refirió a los bancos o depósitos; para evitar la inclusión de cualquier tipo de agregado andesítico. Así pues, los agregados gruesos fueron de tipo calizo o basáltico, que garantizan los parámetros de densidad y absorción siguientes:

Densidad	2.5	Mínimo
Absorción	1 5%	Máximo

Para el material fino, se manejó un máximo del 10%, respecto a los materiales que pasan la malla No. 200, atendiendo a la siguiente tabla de distribuciones.

PROPIEDAD	RCDDF		CLIENTE Y SUPERVISIÓN	
	CLASE 1	CLASE 2	ARENA	MAXIMO
Material más fino que la malla 200 en la arena Porcentaje máximo en peso	15.0	15.0	-	-
Concretos sujetos a abrasión	-	-	3.0	5.0
Concretos presforzados.	-	-	5.0	7.0
Otros concretos	-	-	5.0	10.0
Contracción lineal de los finos que pasan la malla No. 40	2.0	2.0	-	-

- Se utilizó concreto clase I de acuerdo a la resistencia necesaria para cimentaciones según las especificaciones generales del proyecto, que no requirió aditivos, dado que las condiciones del colado en cuanto al acomodo del material no lo ameritaron, por la misma razón, el agregado utilizado tuvo un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ de pulgada
- El refuerzo utilizado mediante las varillas de acero corrugado, cumplió con las especificaciones de la norma ASTM-615 grado 42, de la Norma Oficial Mexicana NOM-B-6 y de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y de Transportación oficial (AASHTO 1983), y la clase del mismo es A-36

En la siguiente tabla se mencionan algunas de las normas aplicables a la supervisión de este material en cualquier etapa:

ALCANCE Y REFERENCIA	NORMA
Método de análisis químico para determinar la composición de aceros y fundiciones	NOM – B – 1
Varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de lingotes o palanquillas para refuerzo de concreto (torcidas en frío)	NOM – B – 6 – B – 294
Varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de riel para refuerzo de concreto	NOM – B – 18
Varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de eje para refuerzo de concreto	NOM – B – 32
Método de pruebas mecánicas para productos de acero	NOM – B – 172
Determinación de las características de las corrugaciones	NOM – B – 291
Método de pruebas para determinar el peso unitario y el área transversal de las varillas lisas y corrugadas para refuerzo de concreto	NOM – B – 434

- Las operaciones necesarias para el habilitado, manejo y colocación del acero de refuerzo fueron ejecutadas con los equipos y el personal adecuado, para evitar que se demeritaran las características del mismo, ya que para su colocación y aprobación fue necesario inspeccionar aspectos tales como oxidación perjudicial, presencia de grasa en la superficie, deformaciones no establecidas o señales de algún otro tipo de alteración
- Las funciones del acero de refuerzo se asumieron como de soporte, absorción de esfuerzos, aminoramiento de la contracción por fraguado y prevención de los cambios de temperatura que pudieron afectar las condiciones del concreto en que las varillas fueron embebidas

Todas estas especificaciones de diseño se tratan en este apartado por ser el primero en el que se menciona el uso de concreto armado como material principal mixto de construcción, pero como se comentó al principio, son aplicables de manera general a los demás elementos estructurales, con ciertas restricciones y cambios que se harán notar en su momento.

4.2.2 Fabricación

Antes de comenzar la fabricación de los pilotes, normalmente se procede a trazar, nivelar y compactar el área donde se fabricarán, para luego colar una cama de concreto perfectamente

nivelada y con acabado pulido; sin embargo, dado que estos elementos se hicieron en una planta de prefabricados, no fue necesario hacerlo, pues las instalaciones de dichas plantas están diseñadas para ello

Así pues, en el patio de acero de refuerzo se habilitaron y se armaron los pilotes de acuerdo con los planos de diseño, incluidas las preparaciones para izarlos una vez colados. Algunos de los puntos finos de esta actividad son la certificación del material en cuanto a los requerimientos de calidad establecidos por el proyecto, y las condiciones de limpieza y resguardo bajo las cuales haya sido almacenado el acero.

Posteriormente, sobre la losa de concreto prevista para estos fines, se procedió a trazar los paños de la cimbra, y a aplicar pasta o líquido desmoldante, para evitar adherencia del elemento estructural a la cama de colado al momento del retiro de la pieza, ya que esta situación llega a ocasionar descarapelamiento, y en algunas ocasiones, hasta desprendimiento del recubrimiento.

El acero de refuerzo, previamente habilitado, fue transportado con una plataforma, desde el patio de acero hasta la zona de camas, para luego ser colocado sobre donde se encontraban ya trazados los pilotes, de acuerdo a las especificaciones marcadas para recubrimiento, colocando piezas de concreto con el objeto de calzar el acero en la parte baja y obligar así la separación requerida entre las varillas y la cimbra de los costados; estas piezas, denominadas "pollos", se fabricaron previamente con un concreto de igual resistencia a la del pilote ($f_c = 250 \text{ kg / cm}^2$), para garantizar que no se perdieran las características del material en ninguna porción del elemento.

La colocación de la cimbra se llevó a cabo a ambos lados del elemento en sentido longitudinal, además se fabricaron taponos en los puntos extremos del mismo, y para uno de los tramos de cada pieza completa, se colocó una cimbra metálica especial en uno de los extremos, para dar la geometría requerida a la punta. La distribución de los tirantes para la rigidización y espaciado continuo de los "cachetes" o costados, se llevó a cabo a cada metro, de acuerdo a la modulación de la cimbra, y a la colocación de postes semi-inclinados en el exterior del elemento; para soportar el empuje lateral producido por un peralte de 40 cm de concreto, no requirió un espaciado menor a los 90 cm. Por otra parte, cabe mencionar que la aplicación del desmoldante a las caras de contacto de la cimbra fue previa al habilitado de la misma, para evitar contaminación del acero con esta sustancia, lo cual resulta inaceptable por las propiedades de adherencia requeridas en este material.

Por facilidad, se ha generalizado ya un procedimiento de fabricación de pilotes, que atiende al aprovechamiento de los que se cuelan en una primera etapa, con un espaciado entre pilote y pilote, igual a la sección del elemento, lo que permite utilizar los costados de éstos como la cimbra lateral de los que se habrán de colar en la segunda fase, previa aplicación de desmoldante en las caras laterales de los mismos. Por lo tanto, la única cimbra que se requiere en la segunda etapa, son los taponos en los puntos extremos. Este procedimiento redujo en gran medida los tiempos de fabricación, ya que, prácticamente, los rendimientos por concepto de

habilitado de cimbra se duplican. En las Figuras 4.4 y 4.5 se puede observar claramente la secuencia descrita.

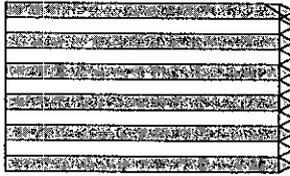


Figura 4.4

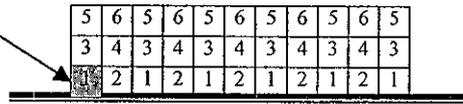


Figura 4.5

El colado de este tipo de elementos no representa ningún problema, pues tanto las dimensiones como la separación del armado permiten que la colocación y el acomodo del concreto sea homogéneo. Para la siguiente etapa de fabricación, se utilizó el método de curado a vapor, que consistió en lo siguiente:

- Dejar fraguar el concreto por un espacio de 5 horas de manera natural.
- Generar una cámara de conservación de calor a base de lonas
- Preparar la instalación que habrá de servir tanto para la aportación de vapor, como para el control de la temperatura.
- Iniciar el proceso de acuerdo a la siguiente tabla.

Primera hora	Vapor a temperatura de 25°C
Segunda hora	Incremento de temperatura de 22°C por hora, durante un tiempo de 2 horas y media
Periodo constante	Mantener temperatura de 6 a 12 horas (sin rebasar los 80°C)
Periodo de descenso	2 horas para llegar a la temperatura ambiente sin cambios bruscos que puedan repercutir en la resistencia del material

Una vez que se cumplió todo este proceso, se retiraron las lonas de confinamiento y se procedió al despegue, el cual se hizo con la ayuda de grúas, tomando las piezas de las preparaciones o ganchos destinados previamente para este fin, teniendo especial cuidado en las maniobras, para evitar sobre-esfuerzos en los pilotes; por lo que la recomendación de la supervisión fue tronar cilindros estándar, para garantizar que el izaje se realizara bajo condiciones del 70% de resistencia alcanzada

El transporte de las piezas se realizó con plataformas hasta el patio de almacenamiento, de donde posteriormente fueron llevadas a la obra para su hincado, siempre y cuando el resultado del trueno de cilindros de los distintos lotes indicara que se había llegado al 100% de la resistencia de proyecto (250 kg / cm^2)

4.2.3 Logística de la "puesta en obra"

Esta actividad requirió de una planeación sumamente estructurada, pues dadas las restricciones de espacio y las interferencias, no era posible únicamente acarrear piezas del patio de almacenamiento a la obra, a discreción, por las condiciones citadas. Por otro lado, se podría pensar que lo mejor hubiera sido traer los pilotes de cada zapata cuando se tuviera el espacio libre, o que se llevaran diariamente los que se iban a hincar al día siguiente. Todo esto se llegó a pensar, y se generaron diversas opciones, de acuerdo a los factores involucrados, como por ejemplo,

- Producción de pilotes en la planta de prefabricación
- Disponibilidad de espacio en la obra
- Zapatas liberadas para trabajos de pilotaje
- Localización de tuberías subterráneas en las áreas donde se pensaba estibar las piezas, ya en el sitio de la obra
- Peso de los lotes de estiba
- Facilidad de maniobra para el hincado
- Capacidad de almacenamiento en la planta de prefabricación
- Rendimiento del hincado de pilotes
- Horas pico de tráfico en el trayecto del transporte
- Costo del equipo de transporte por posibles tiempos de espera (muertos)
- Entre otros

La viabilidad de cada una de las opciones analizadas siempre fue restringida por uno o más de estos factores, sin embargo, la decisión estuvo orientada a la asignación de un equipo de coordinadores tanto en sitio como en planta, para controlar el flujo de pilotes de acuerdo a las actividades desarrolladas en ambos lugares; de tal manera que cuando se liberaban zapatas para el hincado, se liberaba también espacio en el patio de almacenamiento de la planta en la medida de lo posible, o cuando se contaba con menor número de interferencias, se aprovechaba para generar espacios de almacenamiento dentro de la misma obra, aunque posteriormente se tuviese que pagar por un acarreo interno, pero que ya había sido evaluado, y que era preferible a saturar el patio de la planta, lo que podía obligar a que se detuviera la fabricación por falta de espacio.

Todo este tipo de toma de decisiones fue continuo y, en algunos casos, crítico, pero fue la alternativa que se eligió, y hubo que manejarla, corregirla, adecuarla y sobre todo respetarla como

curso de acción, principalmente por principios de orden, y bajo el criterio de que realmente existía un análisis previo de la problemática que se esperaba, y de los riesgos asumidos como consecuencia de la misma; es decir, que si bien había momentos en que las condiciones adversas se daban de manera simultánea, la planeación permitía dar alguna salida, aun con mermas en el costo, las cuales se tenían contempladas como contingencia.

Los coordinadores fueron facultados para dar solución a situaciones asociadas con el tráfico de las piezas, y los residentes para la aprobación de la estiba y la liberación de espacios; aunque con cierta divergencia en los criterios contrapuestos, hubo que adoptar la posición de cooperación, para evitar delegar responsabilidades. La decisión extrema, aunque obligada, consistió en la renta de terrenos cercanos a la obra, con el fin de almacenar temporalmente los pilotes, para evitar costos por traspaleo y maniobras excesivas, que además de incrementar los costos, habrían causado esfuerzos repetidos a las piezas, los cuales no estaban contemplados en el diseño, y aunque menores, pudieran haber afectado

La descarga de los pilotes se realizó evitando concentración de esfuerzos en alguna de las secciones del mismo, tanto durante la maniobra como al momento del entongado, considerando los puntos de apoyo apropiados, para evitar deflexiones o puntos de apoyo inseguros que generaran inestabilidad (Figura 4.6).

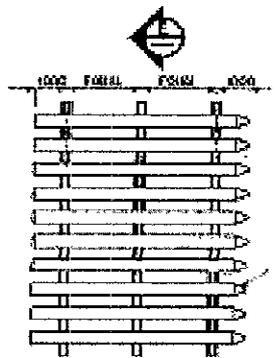


Figura 4.6

4.3 Hincado

La liberación de los pilotes en planta, por parte de la supervisión, fue de vital importancia para evitar el traslado de piezas defectuosas; es decir, el hecho de que un pilote fuera sellado en planta, daba la seguridad de que no se corría el riesgo de un sobre costo, a menos que el defecto se detectara en obra y fuera ocasionado por el transporte o por las maniobras de izaje. Cuando se detectaban varillas expuestas, las piezas se reparaban en el sitio con un resane de mortero seco que impedía la contaminación y alteración de las propiedades del material de refuerzo.

Lo primero que se hizo fue trazar los ejes de pilotes, ubicando con estacas, todos y cada uno de los puntos de hincado dentro del cajón correspondiente, y estableciendo un croquis de localización en planta (Figura 4.7), con puntos de referencia y todas las cotas necesarias para la correcta ejecución de los trabajos. La brigada de topografía fue entregando esta información a las cuadrillas de hincado, de acuerdo al avance y a los rendimientos registrados por cada una de ellas.

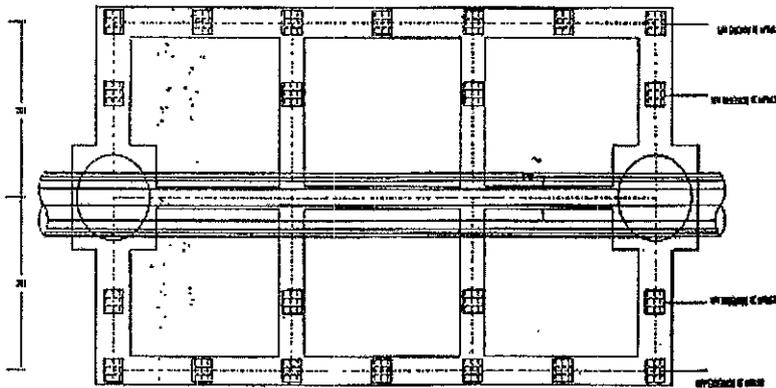


Figura 4.7

A continuación, con el objeto de guiar y facilitar la entrada de las piezas al terreno, sin ocasionar movimientos excesivos en la masa del suelo, se llevó a cabo la perforación previa en cada punto de hincado, con una profundidad promedio de 5 m (Figura 4.8), de tal manera que la sección circular de la perforación representó el 80% del área transversal del pilote (Figura 4.9). La maquinaria utilizada para estos fines fue la siguiente:

- Perforadora rotatoria Watson 5000 (montada sobre grúa)
- Grúa Linkbelt LS-108
- Broca espiral (35cm de diámetro) para extracción del material

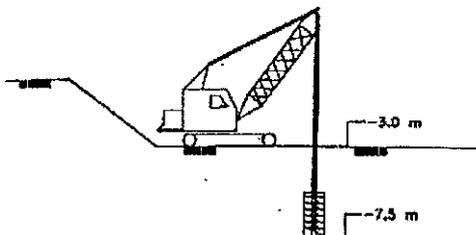


Figura 4.8

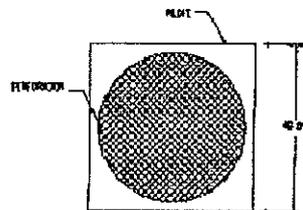


Figura 4.9

Dos de los aspectos de gran importancia durante el proceso de perforación previa, son la verificación de la verticalidad de la excavación en todo momento, y la extracción del material, de tal manera que el remoldeo de suelo permita al pilote una fácil entrada, por lo menos en la primera etapa del hincado. Cuando se tuvieron instalaciones aledañas al área de trabajo, la perforación se llevó 50 cm más abajo del paño inferior de éstas, para evitar esfuerzos indeseables que alteraran su funcionamiento, e incluso su integridad. El tiempo máximo admisible entre la perforación y el hincado, de acuerdo a las indicaciones de la supervisión, fue de 36.0 horas. La distancia máxima de desfaseamiento entre el eje del pilote y el punto de hincado trazado según proyecto, debió mantenerse siempre dentro de un rango menor a los 25 cm, para que estas actividades fueran autorizadas por la supervisión de la obra.

Antes del hincado, durante la etapa de estiba, todos los pilotes se marcaron con pintura de color rojo en una de las caras longitudinales a cada metro, con el fin de llevar el registro correspondiente de metros enterrados contra número de golpes, durante el proceso de hincado de cada una de las piezas

4.3.1 Procedimiento

La secuencia que a continuación se expone muestra claramente el proceso de pilotaje que se siguió, de acuerdo a las especificaciones del proyecto y a las condiciones reales de campo:

- Se lleva a cabo el lanzamiento del pilote, utilizando el cable principal de la grúa para tomar el pilote de la estiba correspondiente, llevándolo hasta la altura necesaria para que sea posible depositarlo en la perforación previa en una posición totalmente vertical.
- Una vez depositado el pilote, se acerca la grúa hasta que la resbaladera se hace coincidir con el pilote, sin soltarlo
- Se verifica la verticalidad de la pieza y de la resbaladera con plomadas, de acuerdo a un marco de referencia en dos sentidos perpendiculares entre sí (Figura 4.10).

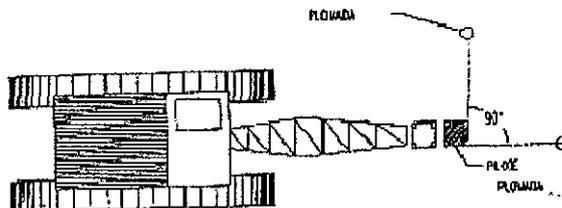


Figura 4.10

- Se baja el martillo hasta que el gorro toque el extremo superior del pilote y se acople perfectamente, con la ayuda de un colchón de madera que debe ser colocado previamente.
- Se da inicio al golpeo, tomando nota del registro al que se hizo mención, desde el momento del primer impacto.
- Una vez iniciado el hincado de cada pilote, no se deberá suspender hasta que el extremo superior de la primera pieza se encuentre 50 cm por encima del nivel de terreno natural.
- Una vez hecho esto, se procede a lanzar el segundo tramo de la pieza, colocándolo sobre el extremo superior del primer tramo
- Se alinean las dos piezas mediante el plomeo de la segunda, para proceder a soldar perimetralmente las placas ubicadas en el extremo superior del primer tramo y en el extremo inferior del segundo.
- Se da un tiempo de enfriamiento de 7 minutos a la soldadura recién aplicada, y se continúa con el proceso de hincado
- Se lleva el extremo superior del segundo tramo hasta el nivel del terreno natural, para colocar el seguidor y llevar la cabeza del pilote hasta 0.90 m por encima del nivel máximo de la excavación que se llevará a cabo para la construcción del cajón de cimentación.

Esta secuencia se siguió para cada uno de los pilotes en los diferentes apoyos del tramo elevado, lo único que varió fue su distribución, de acuerdo con el tipo de zapata que marcaba el proyecto. Las actividades para corregir la verticalidad del pilote se realizaron antes de los primeros golpes del martillo, para evitar el enderezado posterior del pilote por medios mecánicos que pudieran alterar sus propiedades estructurales.

4.3.2 Niveles según proyecto

El espaciamiento entre centros de pilotes siempre fue mayor o igual a tres veces la dimensión de su sección en todos los sentidos, tal y como lo indicaba la especificación y los planos asociados al apoyo de referencia. Por otro lado, la profundidad de hincado real se mantuvo dentro del rango establecido como permisible, que fue de 25 cm de diferencia con respecto a la de

proyecto, lo que garantiza los esfuerzos de adherencia requeridos por diseño, de acuerdo al área de fuste del pilote que debe estar en contacto con el terreno.

Los pilotes fueron hincados hasta un nivel tal que la cabeza del pilote quedara 90 cm por arriba del nivel máximo de excavación aproximadamente, para que una vez que el descabece se llevara a cabo, se tuviera una longitud de anclaje adecuada para hacer la liga entre los pilotes y el cajón al momento de iniciar el desplante de la losa de fondo, y posteriormente a las contratrabes

Dado que las profundidades de hincado estuvieron regidas de manera directa por la subrasante de la línea, se presentaron algunos casos en que las cabezas de los pilotes quedaban más cortas o más largas. En estos casos, lo que se hizo fue detallar el armado en la zona de anclaje, de tal forma que si quedaban más largas, el habilitado se hacía sin cortar acero, adecuando los tramos de vanilla excedentes e incorporándolos al armado principal; mientras que cuando la longitud de anclaje fue menor, se optó por solicitar a proyecto un detalle de armado mediante el cual se garantizara estructuralmente la correcta unión entre los elementos.

4.4 Relación del cobro de los trabajos de pilotaje

Los trabajos de pilotaje son muy fáciles de cobrar, ya que se estiman por pieza o por metro hincado, al igual que la perforación previa. Sólo cuando se requiere librar alguna interferencia o mayor profundidad de perforación, puede alterarse el presupuesto inicial, pero, en general, es sumamente difícil que se presenten cambios de alcance por estos conceptos.

En la construcción del Metropolitano Línea B, se hincaron el número de pilotes que se tenían contemplados en el proyecto, y en cuanto a la perforación previa, fueron contadas las ocasiones en que se perforó más allá de los 5 m. Uno de estos casos se dio para el Apoyo 25, ubicado sobre Héroes de Nacozari; en donde hubo que pilotear a 35 cm de tres ductos de PEMEX que conducen material inflamable.

4.5 Referencia de los trabajos al catálogo de Precios Unitarios

A continuación se referencian las actividades principales de la partida de pilotaje, como podemos ver, el cobro de estos trabajos es ágil y no requiere de consideraciones especiales que conduzcan a una evaluación adicional de las actividades.

No.	CONCEPTO	UNIDAD
1	Fabricación, acarreo y estiba en obra, de pilotes de concreto armado de sección cuadrada de 0.40 x 0.40 m, y una longitud de 28.00 m promedio, resistencia del concreto $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$	Pza
2	Perforación previa para hincado de pilotes de sección cuadrada de 0.40 x 0.40 m hasta 5.00 m de profundidad, incluye cargas y acarrees del material extraído	M

No.	CONCEPTO	UNIDAD
3	Hincado de pilotes de sección cuadrada de 0.40 x 0.40 m, hasta 31.00 m de profundidad en cualquier tipo de material, incluye seguidor en caso necesario	M
4	Descabece de pilotes de concreto armado, con medios mecánicos y / o manuales, para descubrir el acero de refuerzo, incluye la carga y el acarreo del producto de la demolición.	Pza

CAPÍTULO 5 “ Obra Civil “

En este capítulo se describe el proceso constructivo para la construcción del tramo elevado, de acuerdo a la solución que se expone en el capítulo 1. Todos los apoyos fueron construidos con base en el mismo principio, variando únicamente algunas de las dimensiones de los elementos involucrados, excepto los procedimientos especiales que se expondrán más adelante, y que se aplicaron sólo ante situaciones que se salieron del esquema inicial.

Los frentes de ataque fueron tres, con formas de trabajo similares, ya que la superintendencia dictó tanto los procedimientos como las prioridades a lo largo del desarrollo de la obra. Los tres frentes de ataque fueron los siguientes:

FRENTE	CARACTERÍSTICAS	LOCALIZACIÓN
1	Una estación y dos inter-tramos (uno de ellos, transición de subterráneo a elevado)	<input type="checkbox"/> Transición Morelos – Sn. Lázaro <input type="checkbox"/> Estación Sn. Lázaro <input type="checkbox"/> Tramo Sn. Lázaro – Gran Canal
2	Dos estaciones y un intertramo	<input type="checkbox"/> Estación Gran Canal <input type="checkbox"/> Tramo Gran Canal – Romero Rubio <input type="checkbox"/> Estación Romero Rubio
3	Una estación y dos inter-tramos (uno de ellos, transición de elevado a superficial)	<input type="checkbox"/> Tramo Romero Rubio – Oceanía <input type="checkbox"/> Estación Oceanía <input type="checkbox"/> Transición Oceanía – Bosques

5.1 Excavación

Esta actividad tiene muchas implicaciones, entre las cuales podemos mencionar la cercanía de las colindancias, el ángulo de reposo natural del material, la profundidad a la que se encuentra el Nivel de Aguas Freáticas y las instalaciones municipales aledañas. Estos factores pueden ser causa de pequeñas adecuaciones al procedimiento, con el fin de no ocasionar daños o situaciones de riesgo en las que se vea involucrado el personal, la maquinaria o terceros.

5.1.1 Procedimiento general

Lo primero que se hizo fue trazar la geometría del cajón en planta, de acuerdo a las dimensiones del tipo de apoyo a utilizar, y a los cadenamientos correspondientes sobre el eje de la línea. A este trazo se le aumentaron 50 cm hacia cada lado, que se dejaron libres al nivel máximo de la excavación, con el objeto de permitir el correcto drenaje y la libre maniobra, finalmente, de

acuerdo a la profundidad de cada cajón y respetando el talud de 1:0.5 que marcaba la especificación, se llegó al trazo final del paño de la excavación en cada caso.

Sobre este trazo definitivo, se llevó a cabo un costureo del pavimento, el cual consistió en demoler la carpeta sobre la línea de referencia para facilitar el trabajo de excavación, este costureo lo llevó a cabo una cuadrilla de perforistas con la ayuda de pistolas neumáticas. La excavación, como tal, fue llevada a cabo inmediatamente después con la ayuda de una retroexcavadora 320, y en una sola etapa hasta la profundidad de desplante. Los últimos 30 cm de la excavación se llevaron a cabo con herramienta manual al igual que el afine de los taludes, con el objeto de evitar el remoldeo de material

5.1.2 Maquinaria

La maquinaria utilizada durante el proceso de excavación fue casi siempre la misma:

- Compresor INGERSOLL RAND 720
- Pistolas neumáticas DENVER TX45
- Retroexcavadora sobre orugas CATERPILLAR 320
- Dragas sobre orugas con almeja de extracción (cuando las condiciones lo requirieron)
- Camiones de volteo de 8 y 16 m³ de capacidad

Con esta maquinaria se logró establecer un ritmo de trabajo en el que se pudo garantizar una zapata diaria excavada, es decir, 250.0 m³ por una jornada de 10 horas aproximadamente. Es importante mencionar que la supervisión estableció que no debía dejarse material producto de excavación en el exterior de la misma, por lo que siempre se realizó carga directa a camiones, o por lo menos en la medida de lo posible. Esta restricción obedeció a las mismas limitaciones de espacio ya mencionadas.

5.1.3 Métodos de abatimiento del Nivel de Aguas Freáticas

En todo proceso de excavación mayor, cuando se llega al nivel de aguas freáticas, es necesario establecer un sistema de abatimiento, para poder trabajar en condiciones adecuadas de seguridad. Existe una gran cantidad de métodos para solventar esta situación, en esta ocasión se eligió el bombeo de achique.

Una vez alcanzado el nivel máximo de excavación, y de acuerdo a la holgura que se dejó entre el trazo del cajón y el paño de la excavación, se forjó un canal dren en la periferia, para coleccionar el agua proveniente del terreno. En una de las esquinas se construyó un pequeño cárcamo, donde se ubicó una bomba para realizar la extracción del agua, la cual se condujo hasta otro cárcamo de recuperación fuera de la excavación, a una distancia no menor de 15 m, con lo

que se garantizó que el suelo no perdiera sus niveles de contenido de agua, sino que únicamente se alteraron las condiciones naturales de una sección del terreno de manera temporal, para permitir que se desarrollaran las actividades en condiciones adecuadas

La programación del bombeo varió de un tramo a otro de la línea, dado que la cercanía al Gran Canal de algunas de las zapatas obligó a intervalos menores en lo que se refiere a esta actividad. Se llevó un registro de manera general para la excavación de cada apoyo, en el cual se establecían hora de inicio y final del bombeo, para que, previa conciliación, se procediera al pago de este trabajo con base en el costo horario de la bomba utilizada.

La disposición de una bomba adicional en todo momento fue una exigencia de la supervisión, con el fin de resolver cualquier eventualidad que se pudiera presentar en las excavaciones abiertas

5.1.4 Preparación del fondo de la excavación

Una vez excavada el área de la zapata en su totalidad, y con las características previamente expuestas, se procedió a colocar una plantilla de concreto pobre ($f'c = 100 \text{ kg / cm}^2$) de 5 cm de espesor, cubriendo únicamente el área de desplante de la estructura, con el fin de que no se contaminara el acero de la losa de fondo al momento del habilitado. El espesor de la plantilla fue tomado en cuenta para la determinación del nivel máximo de excavación.

Otra de las ventajas que ofrece el colado de una plantilla de concreto es la facilidad al momento de que la brigada de topografía entrega el trazo de los elementos por fabricar, pues cuando se trabaja de manera directa sobre el terreno natural, muchas veces es necesario estar remarcándolos, ya que se pierden continuamente como resultado de las actividades desarrolladas.

Cumplido lo anterior, se llevó a cabo la demolición o descabece de pilotes, con base en los puntos que a continuación se exponen:

- La demolición se realizó con la ayuda de martillos rompedores desde el nivel de la plantilla de concreto hasta el remate superior, de tal forma que las varillas que forman parte del armado del pilote, quedaron perfectamente descubiertas.
- De acuerdo a las consideraciones hechas durante la fabricación y el hincado, la longitud mínima de descabece fue de 80 cm, para garantizar el anclaje adecuado entre la cimentación profunda y la cimentación compensada, tal y como se muestra en el corte de la *Figura 5.1*

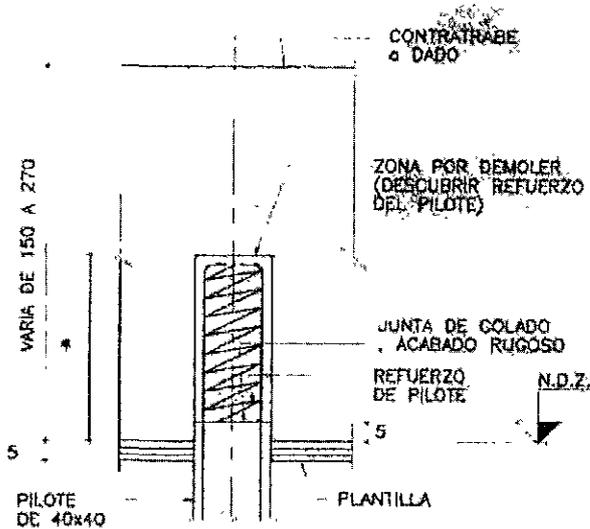


Figura 5.1

- No se cortó ninguna de las varillas del armado longitudinal de los pilotes, únicamente se retiró el refuerzo helicoidal colocado para soportar los esfuerzos generados por el golpeo.
- Tanto los fragmentos de concreto, como el desperdicio de acero generado durante el desarrollo de esta actividad, fueron retirados del fondo de la excavación en su totalidad.
- Las varillas descubiertas fueron cepilladas para garantizar su adherencia al concreto nuevo de la losa de fondo y de las contratrabes

Podemos decir que este proceso de preparación del fondo de la excavación se llevó, en promedio, 16 horas para cada una de las zapatas, y presentó ciertas variaciones asociadas de manera directa a las condiciones del terreno

5.1.5 Afine y protección de taludes.

De manera paralela a la preparación del fondo de la excavación, en las paredes de ésta se realizaron las actividades de afinar y protección de taludes. El afinar consiste en detallar de manera manual el talud, de tal forma que se respete lo que marca la especificación (1:0.5). Cuando durante esta actividad se percibía que el ángulo de reposo del material no permitía mantener esta relación, entonces se procedió a tender más el talud hasta garantizar la estabilidad de la excavación.

Por otra parte, hubo ocasiones en que se llegaron a presentar grietas longitudinales paralelas al paño de la excavación aun cuando el talud se había tendido hasta una relación de 1:1, por lo que fue necesario instrumentar un sistema de contención y protección temporal del talud.

Así pues, se tendió malla de gallinero sobre las paredes de la excavación, se fijó con anclas de un metro de largo, y se conformó una capa de 3 cm de espesor promedio, lanzando concreto pobre, únicamente con el fin de que no se presentaran desgajamientos del terreno, que pudieran caer al fondo de la excavación, e interfirieran con las actividades de estructuración. Esto evitó también que el bombeo de achique se viera afectado por obstrucciones en los canales dren de la periferia

La protección del talud debe llevarse a cabo desde la superficie hasta el nivel máximo de excavación, para que realmente cumpla su función, ya que si se hace de manera parcial, puede resultar sumamente peligroso para el personal que se encuentre laborando en el interior de la excavación.

5.1.6 Procedimientos especiales

Algunos de los apoyos del tramo elevado, por su ubicación principalmente, tuvieron que ser construidos bajo un esquema totalmente diferente a todos los demás; la proyectista, de acuerdo con la supervisión del cliente, determinó procedimientos especiales, según la problemática enfrentada y la factibilidad de las posibles soluciones. Además, hubo que establecer un vínculo interdisciplinario cuando alguno de los obstáculos por librar era una instalación municipal, cuya manipulación representaba algún riesgo potencial.

A continuación se exponen algunos de estos casos particulares de manera breve y clara, de tal forma que se pueda entender la logística generada durante la toma de decisiones, relacionada con cada uno de estos procedimientos.

5.1.6.1 Excavación con costaleras

Este procedimiento fue utilizado en siete apoyos, dos de ellos ubicados en la transición Morelos – San Lázaro, y los otros cinco en el tramo San Lázaro – Gran Canal. El problema fue básicamente la cercanía de estos apoyos con el gran canal de desagüe, que se encuentra sobre la Av. Oceanía entre Eduardo Molina y el Eje 1 Norte.

Lo primero que se hizo fue trazar en planta la excavación por realizar, y del paño de ésta se midieron 2 m hacia fuera, para determinar en dónde se colocaría la costalera. Posteriormente, se rellenaron costales de nylon con aproximadamente 50 kg de material limo-arenoso (tepetate) cada uno, y se cerraron con alambre recocido. Estos costales se fueron colocando a tres bolillo para conformar una cortina perimetral de dos metros de altura y taludes de 1:0.3 a ambos lados, de

tal manera que en la parte superior se tuviera una corona de dos metros de ancho en sección (Figura 5.2 y 5.3).

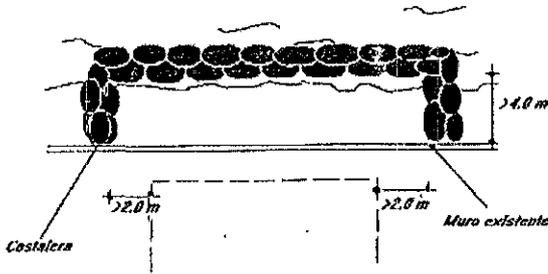


Figura 5.2

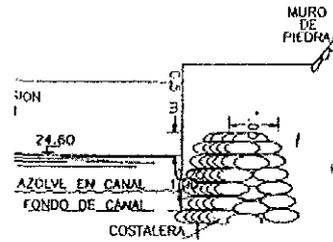


Figura 5.3

Una vez que la estructura de contención fue autorizada por la supervisión, se procedió a pilotear la zapata, para luego excavar con draga y almeja, evitando así concentrar cargas en el perímetro de la excavación, ya que cualquier movimiento excesivo de la masa de suelo adyacente podía causar alteraciones a los taludes.

En las Figuras 5.4 y 5.5 se puede ver que la costalera permaneció desde antes de inicio al proceso de excavación, hasta la etapa de relleno y compactación del terreno, para garantizar el aislamiento de la zona de trabajo en todo momento, sin permitir que el cambio de nivel en el cuerpo de agua afectara las actividades de estructuración. El bombeo de achique en estos apoyos fue mucho más intenso, ya que además del Nivel de aguas freáticas, se tuvo la influencia continua del canal.



Figura 5.4



Figura 5.5

La distancia que se dejó libre entre el paño de la excavación y el pie de la costalera, en muchas ocasiones se redujo porque hubo que tender el talud de la excavación, pero jamás llegó a ser menor a los 50 cm.

5.1.6.2 Ductos Pemex

Para el caso de cruces o interferencias con los derechos de vía de Pemex, existe una serie de requerimientos mínimos de seguridad de carácter general, los cuales se presentan a continuación, de manera condensada:

- Para cualquier efecto referente a cruzamientos del derecho de vía de los ductos de Pemex Refinación, ya sea por obras viales u otras de servicios, se requiere solicitar la autorización a la Subgerencia Regional que corresponda.
- Para la realización de cualquier tipo de trabajo en el derecho de vía, se requiere autorización y coordinación del personal técnico de Pemex Refinación.
- Antes de iniciar cualquier actividad, debe acordonarse el derecho de vía para poder establecer la zona en que Pemex tiene autoridad
- Los señalamientos que hagan referencia a las características de los trabajos que se están realizando, deberán estar a 50 m de distancia como mínimo, para evitar la cercanía de terceros al área de riesgo
- No se deberá transitar o usar maquinaria y equipo pesado sobre el derecho de vía
- Todas las excavaciones, rellenos y compactaciones sobre el derecho de vía deberán efectuarse con herramienta manual.
- Será inaceptable el hecho de que algún elemento de la nueva obra quede entre dos o más ductos de los instalados por Pemex Refinación
- Pemex Refinación tiene autoridad plena para suspender los trabajos, si no se cumple con alguno de sus requerimientos, siempre y cuando estén técnicamente soportados
- Pemex Refinación está obligado a proporcionar procedimientos específicos, o autorizar las propuestas de solución dadas por el personal de proyecto

- Al término de los trabajos, deberán restituirse las condiciones originales sobre el derecho de vía, en lo que se refiere a señalamientos restrictivos y postes que miden la protección catódica, entre otros.
- Se deberá realizar un acta de liberación de los trabajos, previo acuerdo entre las partes, para poder establecer que se han concluido las actividades.

Para el caso del tramo elevado de la línea B, la interferencia con los ductos de Pemex se dio a la altura del apoyo 25, ubicado sobre la Av. Oceanía, entre Héroes de Nacozari y el Eje 1 Norte, esto es en el tramo San Lázaro – Gran Canal. La distancia mínima real entre la esquina norponiente del cajón y el paño del ducto es de 81 cm, y es por ello que se colocó una estructura de contención temporal a base de viguetas IPR de 18", tablonces y polines, para confinar toda el área de excavación de la zapata.

Esta estructura de ademe o contención temporal se colocó en la frontera de la excavación, iniciando con el hincado de las viguetas IPR en las 4 esquinas, y posteriormente sobre la línea perimetral a cada 2.00 m como máximo, la profundidad a la que se hincaron estos elementos consideró 2.00 m de "pata"; es decir, 2.00 m más abajo del nivel máximo de excavación indicado por proyecto. Posteriormente, se procedió a excavar 1.50 m para complementar la primera etapa del ademe, colocando los tablonces entre las viguetas, y rigidizando los diafragmas formados, con polines colocados horizontalmente y fijados con cuñas de retaque. La separación vertical entre polines fue de 80 cm como máximo, mientras que los tablonces se dejaron "a hueso".

A un metro de profundidad, se colocó una vigueta madrina perimetral, en forma transversal a las que fueron previamente hincadas, de las mismas características y por la parte interna, soldando cada una de las secciones de unión. Para rigidizar este marco metálico, se colocaron "patas de gallo" en las cuatro esquinas, formadas con tubo de acero de 6" de diámetro (CED 40).

Una vez cumplido lo anterior, se continuó la excavación hasta llegar al nivel de proyecto, y 80 cm arriba de éste, se repitió la misma operación descrita en la primera etapa, concluyendo así la construcción de la estructura de contención temporal.

Como medida adicional, se colocó una pantalla para aislar la tubería de la zona de trabajo, y evitar que tanto los esfuerzos generados por el pilotaje, como la liberación de esfuerzos durante la excavación, alteraran la integridad del ducto en cuestión. Esta pantalla se hizo hincando placa machimbrada de ¼" hasta una profundidad de 2.40 m y paralelamente al ducto en una longitud de 5 m hacia cada lado del punto crítico.

La excavación, en este caso, también se llevó a cabo con la ayuda de draga y almeja de extracción, por las limitaciones de accesibilidad para la retroexcavadora de orugas. Por otro lado, el relleno posterior a la estructuración se coordinó con el retiro paulatino de la estructura de contención temporal, para no dejar atrapado ningún material.

La continua supervisión de estos trabajos por parte del personal de Pemex Refinación fue indispensable, ya que el riesgo de causar daños a la tubería estuvo siempre latente; sin embargo, se optó por este procedimiento y el apego a él fue lo que ayudó a que se realizara satisfactoriamente.

5.1.6.3 Planta de Bombeo

Para llevar a cabo la construcción del cajón de cimentación correspondiente al apoyo número 31 del tramo elevado, cuyo trazo cayó de manera parcial dentro de la planta de bombeo de aguas negras ubicada en la esquina de la Av. Oceanía y el Eje 1 Norte, fue necesario efectuar la demolición del muro de contención existente, así como el retiro de las tuberías ubicadas por debajo del nivel de desplante.

Primero se determinó la ubicación de la zona de excavación, tomando una holgura de 50 cm adicional para colocar una estructura de ademe; este trazo se trasladó al muro dentro de la zona de interferencia, marcando con pintura el paño de la demolición. Se marcaron también en campo, los ejes de las instalaciones municipales aledañas y se ejecutaron los desvíos correspondientes conforme a los procedimientos de obra inducida descritos en el capítulo 3. Una vez que se terminaron los rellenos, se hincaron viguetas IPR de 12", de la misma manera que se hizo para los ductos Pemex, dejando libre un acceso para la máquina piloteadora.

Cuando se llegó al nivel del desplante de la zapata del muro de contención, se procedió a demolerlo hasta los paños previamente marcados y se extrajo la rezaga generada, para poder hincar los pilotes de este apoyo, previa nivelación del terreno, para que pudiera entrar la maquinaria al área de la zapata.

Una vez terminada esta actividad, se hincaron las viguetas faltantes en el costado de la zapata que se encontraba dentro de la planta de bombeo y en el acceso que se había dejado, para permitir la excavación por etapas y la construcción de la estructura de contención temporal, la cual se troqueló sobre el lado más corto del trazo de este apoyo (*Figura 5.6*) y no con "patas de gallo" como se mencionó anteriormente. El troquelar este tipo de excavaciones ayuda a evitar que un terreno inestable induzca empujes pasivos que pongan en peligro al personal involucrado en los trabajos de estructuración, es por ello que se decidió aplicar esta clase de procedimiento en el apoyo de referencia junto a la planta de bombeo, sobre todo por la cercanía con el canal y la cantidad de equipo (bombas, turbinas, etc.) que había en la colindancia.

Después de la estructuración del apoyo, se rellenó la excavación hasta alcanzar el nivel de desplante del muro demolido, y se restituyó de acuerdo a la misma sección, ligando el acero del muro nuevo con las preparaciones que se dejaron cuando se demolió el tramo de la afectación

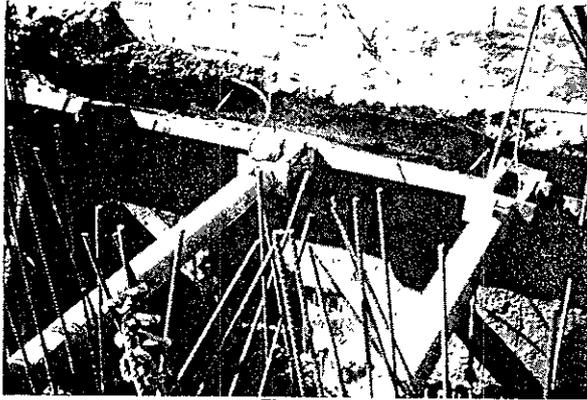


Figura 5.6

5.1.7 Referencia de los trabajos al catálogo de Precios Unitarios

Los precios unitarios que se presentan a continuación, son únicamente algunos de los conceptos más utilizados durante la estimación de estos trabajos; dependiendo del grado de dificultad de la excavación realizada para cada cajón, se utilizaron algunos métodos más especializados, pero de manera general se puede decir que éstos fueron los conceptos que mayor injerencia tuvieron en el presupuesto para excavación

No.	CONCEPTO	UNIDAD
1	Excavación a cielo abierto con medios manuales y/o mecánicos a la profundidad indicada por proyecto, incluye carga directa a camión y acarreo al 1er kilómetro	M ³
2	Acarreo a kilómetros subsecuentes, del material producto de la excavación dentro de zona urbana y suburbana	M ³ km
3	Plantilla de concreto simple de 0.05 m de espesor y con un f'c=250 kg/cm ² , tipo II	M ²
4	Suministro y colocación de madrinas en ademes a base de vigas metálicas tipo IPR de acuerdo al manual AHMSA, con recuperación a favor de la contratista de X" x X" y de X kg/m	Kg
5	Troquelamiento en estructura de contención, a base de tubo de acero ced 40 y placa de acero estructural, con recuperación a favor de la contratista X" de diámetro	Kg
6	Suministro y colocación de estructura de contención a base de madera tablonces de 10"x 1"x 2'	P/U
7	Protección de taludes con aplicación de mortero cemento – arena, proporción 1:3, de 3 cm de espesor, sobre tela de gallinero	M ²
8	Suministro y colocación de costales de 50kg/pza, rellenos con tepetate, para conformar estructuras de contención en las zonas aledañas al Gran Canal	Pza
9	Mejoramiento del terreno con tezontle, en zona delimitada por costalera	M ³

5.2 Desplante de estructuras (acero, cimbra y concreto)

Para poder iniciar los trabajos de estructuración del cajón de cimentación, se necesitó preparar primero todo lo referente al fondo de la excavación, desde el afine hasta el colado de la plantilla, además de que se debió haber establecido previamente el programa de bombeo, para mantener la excavación libre de agua. Esto garantizó que no hubiera contaminación de los materiales de construcción que se utilizaron, ya sea por lodo o caídos.

Este proceso requirió de diferentes sistemas de cimbra, de habilitado de acero y de colado, de tal forma que los métodos utilizados atendieron de manera directa a las necesidades propias de cada una de las zapatas fabricadas; sin embargo, las desviaciones con respecto al procedimiento general que se describe a continuación, fueron mínimas, y completamente aceptadas por la supervisión, para apearse al programa, demostrando el cumplimiento de su labor técnica, consistente en la evaluación de alternativas en campo con el mayor apego al proyecto y un enfoque práctico.

5.2.1 Secuencia Constructiva

Como en toda obra civil, lo primero fue el trazo, tanto del eje de la línea como de los ejes de las contratraves y los centros de columnas. Esta actividad se vio sumamente beneficiada con el colado de la plantilla de concreto, ya que el trazo fue único y preciso. En la *Figura 5.7* se puede ver la configuración tipo de las zapatas de intertramo en un corte transversal, este esquema rige de manera general el proceso de estructuración.

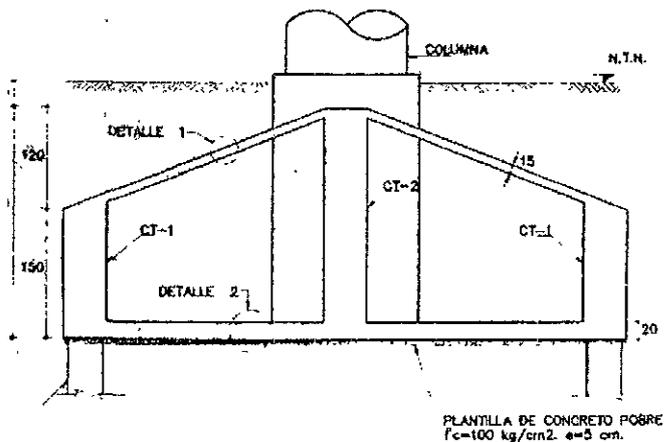


Figura 5.7

Como se puede observar, la subestructura para cada apoyo tipo es un cajón de cimentación apoyado en pilotes de fricción, en el cual se soportan dos columnas. Este cajón está formado por una retícula de contratrabes y por dos losas, una de fondo y una de tapa, además está diseñado para que la descarga que se transmite a través de él se equilibre con el peso del suelo retirado, trabajando así como una cimentación mixta, es decir, una combinación de cimentación profunda (pilotaje) y cimentación compensada (cajón).

5.2.1.1 Losa de fondo

Este primer elemento es el que determina la dimensión del apoyo en planta, pues por un lado, representa el desplante de la estructura, y por otro, es el que se encuentra en contacto directo con el suelo, por lo tanto debe resistir los empujes del mismo y transmitir las cargas de la superestructura. Sus características son las siguientes:

Acero

Se trata de una parrilla doble, armada a tres bolillo con varilla del No. 4 a cada 25 cm en ambos sentidos; dado que el habilitado no es más que un dobléz a 90° en los extremos de las varillas, éste se hizo en sitio. Este armado se debe ligar al de la parte baja de contratrabes y columnas, la parrilla inferior debe calzarse 5 cm con silletas de varilla del número 3, y los refuerzos para el chafán deben dejarse habilitados desde el colado de la losa de fondo.

Cimbra

De acuerdo al trazo entregado por topografía, únicamente se tuvo que colocar una frontera perimetral con tabloncillos de 12" de ancho perfectamente alineados y plomeados, revisando que se cumpliera el recubrimiento de 5 cm, colocando "pollos" para este fin, fabricados de concreto de la misma resistencia que el que se utilizó para el colado principal. Antes del cimbrado se aplicó diesel como desmoldante, dado que no se requirió un acabado especial para este elemento.

Concreto

El colado de esta losa se llevó a cabo con "escantillón", con un espesor de 25 a 30 cm, dependiendo del tipo de zapata que marcaba el proyecto. Antes de efectuar este colado, es muy importante mencionar que debe estar completo el armado de las contratrabes y las columnas en la parte baja, ya que es necesario que el acero de estos dos elementos quede ahogado desde este primer colado, para garantizar la correcta función estructural conforme al diseño. La resistencia del concreto utilizado fue de 250 kg / cm², y el revenimiento de 10 cm, ya que la colocación fue sencilla, dada la separación del armado.

5.2.1.2 Contratraveses

Las contratraveses que componen el cajón son, algunas de peralte constante, y otras de peralte variable (*Figuras 5.8 y 5.9*). Los anchos o espesores son constantes a todo lo largo del elemento en ambos sentidos del apoyo, conformando la retícula que divide en 8 celdas cada una de las zapatas. Su función estructural es determinante dentro de la cimentación, ya que se encarga de bajar la carga a la losa de fondo para transmitirla después al terreno.

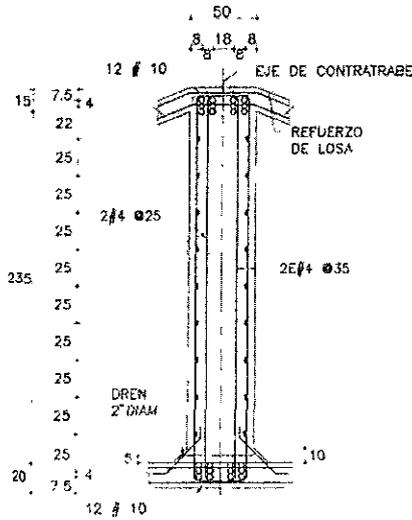


Figura 5.8

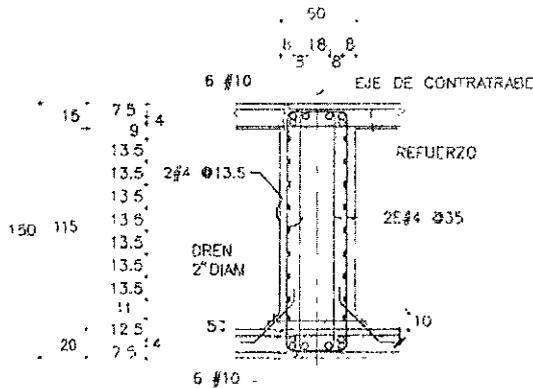


Figura 5.9

Acero

Como se observa en las dos figuras anteriores, para el armado de las contratraves se utilizaron varillas de dos diferentes diámetros, del número 10 en el sentido longitudinal, conformando así la geometría del elemento, y del número 4, tanto para el refuerzo transversal como para el revestimiento

El acero de mayor diámetro se manejó para las contratraves en paquetes de 2, se habilitó en el taller y posteriormente se trasladó a la obra por lotes de acuerdo a la zapata tipo que se requiriera. Por el contrario, el acero del número 4 se habilitó en sitio, pues no presentaba mayores detalles, a excepción de los estribos de refuerzo para cortante, que también fueron habilitados en taller para ahorrar tiempo en obra.

Cimbra

Las contratraves requirieron una modulación especial para cada zapata tipo; es decir, se utilizaron aproximadamente 9 modulaciones distintas, las cuales se solicitaron a un fabricante con base en los planos correspondientes. Esta cimbra consistió en tableros metálicos con cara de contacto de triplay, muy fáciles y rápidos de armar, ya que la modulación fue especialmente diseñada para estos fines.

El tratamiento que se le dio a la madera fue la aplicación de "Sika Colmasol" al inicio, y diesel posteriormente, entre uso y uso. La revisión de la separación entre acero y cimbra se llevó a cabo antes de troquelear los "cachetes", facilitando así las modificaciones requeridas para cumplir con este requerimiento.

Concreto

Puede decirse que el colado de contratraves fue el que mayor dificultad presentó, tanto por lo cerrado del armado en la parte superior y en la zona de columnas, como por el peralte en el centro, ya que el acomodo del concreto y el vibrado se realizaron muy lentamente.

Para poder dar paso al concreto y al vibrador, se tuvo que liberar un estribo durante el colado y volverlo a amarrar al finalizar. Fue necesario establecer previamente el sentido del colado para poder planear bien la maniobra de movimiento de equipo y de personal, dado que se trataba de un colado largo.

La importancia estructural de estos elementos obligó a una estricta supervisión de esta partida, y por ende, a un cuidado especial del concreto utilizado para este fin, cuya resistencia fue de 250 kg / cm², y el revenimiento de 12 cm. En cuanto al nivel del remate del colado, se tomó 17 cm abajo de la varilla superior del armado, para que la losa tapa se colara junto con esta última porción de la contratrabe.

5.2.1.3 Losa Tapa

Este elemento es precisamente el que viene a cerrar el cajón en la parte superior para poder ejecutar los rellenos. Su configuración es sumamente sencilla, pues se trata de una tapa a dos aguas, apoyada sobre las contratraves.

Acero

El armado de la losa tapa consistió en dos parrillas armadas a tres bolillo con varilla del número 4 a cada 30 cm en ambos sentidos, y separadas 9 cm una de la otra. El habilitado de estas parrillas se llevó a cabo también en sitio por la facilidad de esta actividad, es decir, una escuadra en cada uno de los extremos de la varilla no representaba ningún problema.

El recubrimiento en la parte baja de la losa fue uno de los detalles que se tuvieron que cuidar, así como la liga del armado de este elemento con las varillas longitudinales de las contratraves que se dejaron sin colar con este fin.

Cimbra

La losa tapa se tuvo que cimbrar desde el interior de las celdas, por lo que los planos marcan un registro de recuperación de la cimbra por donde se extraían los tableros utilizados. Este registro se coló posteriormente, dejando un trozo de triplay prisionero en las celdas exteriores. La frontera de la losa se cimbró con largueros apañados al colado de las contratraves, perfectamente plomeados

Concreto

Este colado se realizó con "maestras", considerando un espesor de 17 cm. Antes de iniciar el colado se llevó a cabo una revisión de las varillas que quedaron descubiertas en las contratraves, para verificar que se encontraran perfectamente limpias y se garantizara la adherencia del concreto nuevo a ellas

Este colado fue sencillo, siempre que estuvieran perfectamente definidos los niveles de remate por topografía. Las características del concreto utilizado fueron las siguientes: resistencia de 250 kg / cm² y revenimiento de 10 cm

5.2.1.4 Datos de soporte

Estos elementos fueron cimbrados y colados de manera monolítica con las contratraves, ya que representan el apoyo directo de las columnas, y para que haya una adecuada transmisión de esfuerzos de la superestructura a la subestructura, no debe haber discontinuidades ni juntas frías que puedan terminar en planos de falla ante una sollicitación repentina.

5.2.1.5 Columnas y capiteles

La mayoría de las columnas del tramo elevado tienen una altura promedio de 10.0 m, y un diámetro constante de 1.40 m; sin embargo, en las transiciones existen algunas de hasta 1.50 m de altura; las que alcanzan una altura superior a los 12.00 m tienen una sección variable (oblonga) de 1.40 x 1.60 m en la base, hasta llegar al 1.40 en la parte más alta.

Armado

Como ya se comentó, las columnas se comenzaban a armar desde antes del colado de la losa de fondo, para que quedaran perfectamente ancladas al cajón; a este proceso se le denomina erección de las columnas y consistió en colocar paquetes de dos varillas del número 10 en la parrilla exterior, y varillas aisladas del mismo diámetro en la pared interior conforme al trazo y apoyadas en el armado principal de las contratraves, para lograr la verticalidad requerida. La geometría se dio mediante la colocación de anillos desde el nivel de remate de las contratraves hacia arriba. Una vez que se tuvieron paradas las varillas, se contraventearon con la ayuda de cuatro tirantes de alambre perfectamente distribuidos, de tal manera que garantizaran la estabilidad del elemento. Finalmente, se colocó el refuerzo perimetral con zunchos en espiral, que se iban amarrando al armado principal, considerando una separación uniforme de 15 cm a lo largo de toda la columna. También se reforzó desde el interior con la ayuda de bastones de rigidización colocados como diámetros de un lado a otro de la columna, hasta un tercio de la altura total del elemento (*Figura 5.10*).

El plomeo del elemento, verificado topográficamente en todo momento, fue uno de los puntos finos, ya que cuando no se llevó a cabo, hubo que desamarrar y volver a amarrar parte del elemento para recuperar la verticalidad. En la *Figura 5.11* se observan algunas columnas del tramo San Lázaro – Gran Canal, precisamente antes de proceder al “zunchado” (refuerzo perimetral).

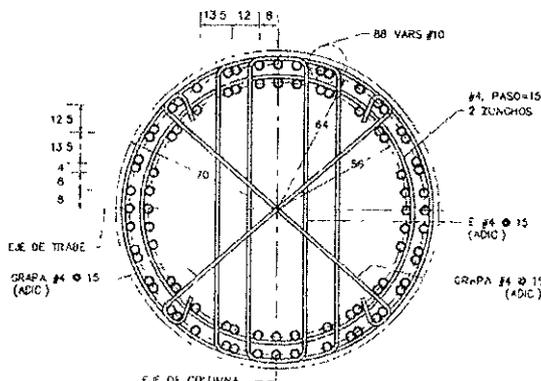


Figura 5.10

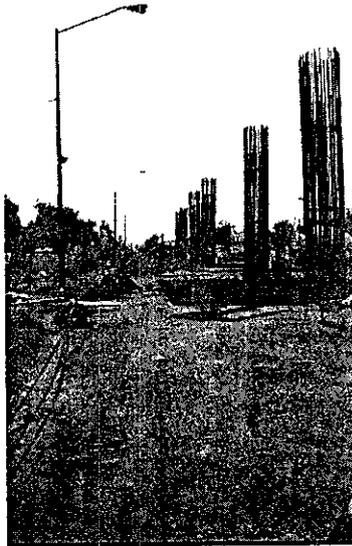


Figura 5.11

Para el armado de los capiteles, se requirió doblar las preparaciones realizadas en las columnas de manera concéntrica, previa colocación del accesorio metálico para la recepción de las traveses, el cual fue nivelado topográficamente en todos los casos.

El refuerzo adicional consistió en 5 estribos circulares de diámetro variable, de acuerdo con la geometría del capitel, esto con el fin de mantenerlo intacto ante la concentración de esfuerzos al momento del montaje.

Cimbra

Para las columnas se utilizaron moldes metálicos de placa de acero de $\frac{1}{4}$ " ,rolada y reforzada con solera y ángulo también de acero. La modulación de los moldes consistía en dos medias cañas que se atornillaban una a la otra para formar un cilindro, las juntas longitudinales interiores se resanaban con pasta automotriz para dar el acabado aparente en toda la cara perimetral. Una vez completa esta operación y terminado el armado de la columna, se izaba el molde con una grúa y se colocaba alrededor del armado, apoyándose finalmente en el dado de soporte. Se verificó en cada caso, el plomeo del molde y la separación entre el acero y la cimbra, para cumplir con el recubrimiento marcado por la especificación.

El molde para cimbrar los capiteles fue fabricado en fibra de vidrio conforme a diseño, y se moduló en dos partes para poder colocarlo, ya que existía variación de diámetro en el remate. A las dos secciones se les aplicó desmoldante antes de colocarlas y atornillarlas de manera definitiva

Concreto

De acuerdo con el proyecto, el concreto utilizado para las columnas debía presentar las siguientes características: resistencia de $300\text{kg} / \text{cm}^2$, revenimiento de 14 cm e incluso de aire al 6%, para ayudar a que al momento de retirar la cimbra, no hubiera descarapelamiento del elemento por adherencia del concreto al molde. El colado se realizó con la ayuda de un embudo en la parte superior y una lingada hasta un metro arriba del nivel de desplante de la columna, lo que ayudó a que no se segregara el agregado con la caída. Para el vaciado, se utilizaron una grúa y una bacha de un metro cúbico. En la parte superior del molde se armaba un andamio perimetral para permitir que se realizaran de manera segura las maniobras asociadas al colado.

Los capiteles fueron colados con concreto de $300\text{kg} / \text{cm}^2$ de resistencia, agregado de $\frac{1}{2}$ ", revenimiento de 14 cm e incluso de aire, para lograr que se alcanzara el acabado aparente deseado. Dado el tamaño del agregado, estos colados fueron sumamente rápidos, ya que, además, el volumen era sumamente pequeño (1.50m^3 aproximadamente). En la *Figura 5.12* se pueden observar las columnas coladas de la estación San Lázaro, precisamente antes de proceder al detalle de armado de los capiteles.



Figura 5.12

Como una apreciación personal del proceso descrito, cabe señalar algunos comentarios de carácter general, sobre esta partida de estructuración.

- Es determinante la presencia de personal técnico en todas y cada una de las actividades de estructuración, con el fin de que exista una evaluación constante de los procedimientos, y, por ende, una mejora continua de los mismos.
- La planeación de los colados debe considerar aspectos tales como la secuencia de ataque, el acceso de las ollas que transportan el concreto, la disposición de la herramienta necesaria y el equipo adecuado para un correcto y seguro desarrollo de esta actividad.

- La presencia del laboratorio de materiales y de la supervisión del cliente debe ser coordinada, para que se tenga la plena seguridad de que se verifica lo que marca el proyecto y que existe acuerdo entre las partes.
- La plantilla de personal para cada una de las tareas debe estar previamente diseñada, asignando funciones específicas a cada integrante de las diferentes cuadrillas, lo que ayuda a incrementar los rendimientos.
- En lo que se refiere a la cimbra, debe planearse el orden en que se atacará un frente; esto evitará traslados innecesarios del material de un lado a otro, que ocasionan sobre costos que, a la larga, impactan en mayor o menor medida al presupuesto de obra

Con base en registros de la supervisión y de la constructora, se generó, para el presente trabajo, la siguiente tabla de tiempos que muestra la duración de cada una de las etapas de estructuración, lo que permite dar una idea del tiempo que permaneció abierta una excavación, y del tiempo efectivo que se invierte en la construcción de cada uno de los elementos que forman parte de lo que se ha denominado obra civil.

TABLA DE TIEMPOS DE ESTRUCTURACIÓN

Elemento (Vol. Promedio)	Armado	Cimbrado	Colado	Tiempo efectivo por elemento
Losa de fondo (21 m ³)	6 hrs	2 hrs	3 hrs	11 hrs
Contratraveses (72 m ³)	35 hrs	18 hrs	8 hrs	61 hrs
Losa Tapa (14 m ³)	5 hrs	9 hrs	2 hrs	16 hrs
Columnas (15 m ³)	33 hrs	2 hrs	3 hrs	38 hrs
Capiteles (1.50 m ³)	8 hrs	2 hrs	1 hr	11 hrs
Tiempo efectivo por actividad	87 hrs	34 hrs	17 hrs	137 hrs

Esto corresponde aproximadamente a 11 turnos de 11 horas o a una semana completa contando medio día del sábado.

Cabe mencionar que como se trata de tiempos parciales y aislados, no se están considerando las actividades simultáneas; por lo tanto, el tiempo obtenido es el tiempo máximo, sin embargo, con base en lo observado durante mi estancia en este proyecto, puede decirse que el tiempo real de estructuración fue de 9 turnos de 11 horas, es decir, 4 días y medio de trabajo, ya que se trabajaban dos turnos.

5.2.2 Control del Nivel Freático durante la estructuración

Esta actividad fue de suma importancia para poder llevar a cabo la estructuración bajo condiciones adecuadas de trabajo, esto es, sin eventualidades que pueden ser evitadas, y que en caso de no ser así, pueden ocasionar retrasos y accidentes, entre otros eventos indeseables y perjudiciales para el buen desarrollo de la obra. Como ya se mencionó, el control del nivel freático se llevó a cabo mediante bombeo de achique programado, y fueron pocas las veces en que la capacidad de este método no pudo controlar el nivel de aguas freáticas. De hecho, únicamente fueron tres las ocasiones en que el nivel del Gran Canal subió tanto que el bombeo fue insuficiente en las 7 zapatas aledañas a éste. Los efectos fueron mínimos, ya que aun cuando se elevó el nivel de agua en la zapata hasta 1 m, la supervisión autorizó un lavado del acero y de la losa de fondo, que fueron los elementos que resultaron afectados.

El bombeo se cobró por costo horario de maquinaria, y en los casos descritos al final del párrafo anterior, la supervisión tuvo que aceptar los cargos correspondientes, dado que no fueron consecuencia de alguna situación imputable a la constructora, y no se podía cuestionar la necesidad de llevarlos a cabo.

5.2.3 Referencia de actividades al catálogo de Precios Unitarios.

Para la etapa de estructuración, los conceptos de cimbra, concreto y acero son los que más se utilizan; sin embargo, se enlistan también algunos otros propios del proyecto tales como accesorios metálicos y bombeo para el control del nivel freático.

No.	CONCEPTO	UNIDAD
1	Cimbra común y descimbra en cimentación, a cualquier nivel	M ²
2	Cimbra común y descimbra en losas, dados y contratraves	M ²
3	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo del número X (x/x") de diámetro, en losas, contratraves y dados con un Fy=4200 kg/cm ²	Kg
4	Concreto premezclado con un f'c=250 kg/cm ² , clase I, resistencia normal, Tamaño máximo del agregado de 19 mm; en losas, contratraves y dados	M ³
5	Suministro y colocación de placa de acero de 3/4" de espesor, incluye cortes, esmerilado y desperdicios	Kg

No.	CONCEPTO	UNIDAD
6	Suministro y colocación de anclas de 19 mm (3/4") de diámetro, con 8 cm de rosca y 80 cm de longitud	Pza
7	Relleno con resina epóxica para fijación de anclas	Lt
8	Bombeo de achique con bomba de 4"	Hr
9	Registro para inspección de cimentaciones a base de muro de tabique, tapa y escalones de Fo. Fo., con dimensiones de 1.10 x 0.90 x 0.60 m	Pza
10	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo con un $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$, del No. X (x/x") de diámetro a diferentes niveles de columna	Kg
11	Cimbra aparente y descimbrado en columnas a cualquier nivel; incluye habilitado de muescas de 10 cm	M ²
12	Angulo a base de placa de acero de 3/4" en lecho bajo de capitel	Kg
13	Concreto premezclado con $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$, clase I, resistencia normal, tamaño máximo del agregado de 19 mm, revenimiento de 14 cm, inductor de aire y colocado a cualquier nivel	M ³
14	Concreto premezclado con $f_c=350 \text{ kg/cm}^2$, clase I, resistencia normal, tamaño máximo del agregado de 19 mm, revenimiento de 14 cm, inductor de aire y colocado en capiteles	M ³

5.3 Relleno de confinamiento y llenado de celdas

El relleno de confinamiento es la última de las actividades generales relacionadas con la construcción de la subestructura, cuya principal función es confinar y aprisionar los elementos de cimentación en la masa de suelo adyacente, de tal forma que se brinde la estabilidad suficiente mediante un proceso de compactación del material utilizado para este fin, el cual debe tener ciertas características especiales.

5.3.1 Elección de bancos de material autorizados

Previo al inicio de la obra, el laboratorio asignado se encargó de muestrear los bancos señalados por la constructora en su propuesta, y entregó a la supervisión del cliente un informe desglosado del tipo de material muestreado en cada uno de los bancos, de tal manera que pudiera llevar a cabo un dictamen, señalando los bancos autorizados para el suministro de materiales necesarios tanto para los rellenos de la obra civil, como para la obra inducida. Este dictamen estableció, a manera de prioridades, los bancos de los cuales se aceptaría cada material, considerando siempre segundas opciones en caso de eventualidades. Esto ayudó a que no se generaran tiempos de espera por falta de suministro, pues hubo ocasiones en que el material de alguno de los bancos dejó de cumplir con las características requeridas, o la operación de los mismos se vio afectada por factores climáticos.

5.3.2 Estratificación del relleno según especificación

El relleno se llevó a cabo de acuerdo a la especificación correspondiente, en la que se indican los materiales a utilizar, sus características, y el orden en que habrán de colocarse para garantizar su mejor acomodo en todas las zapatas del tramo elevado

La primera fase de relleno se hizo con material limo-arenoso (tepetate) hasta el punto más bajo, en donde se unen la losa tapa y las contratraves, este nivel coincide con el nivel máximo de llenado de las celdas. Posteriormente, la especificación marca un relleno con tezontle en greña hasta 45 cm por debajo del nivel de pavimento proyectado, para dar cabida a 20 cm de sub-base, 15 cm de base y 10 cm de carpeta asfáltica.

Los rellenos que fueron colocados cercanos a instalaciones hidráulicas, se tendieron con una humedad superior a la óptima en un 2%, con un grado de compactación igual al 85% de la prueba AASHTO, de acuerdo con los criterios fijados por la DGCOH.

5.3.2.1 Tepetate

El tepetate utilizado para el primer estrato de relleno se colocó en capas no mayores de 20 cm de espesor, compactadas al 90% de la prueba AASHTO estándar, mismas que quedaron liberadas por la supervisión una vez que el laboratorio verificó, tanto el grado de compactación como el valor relativo de soporte, que fue del 20 % como mínimo.

5.3.2.2 Tezontle

El tezontle en greña, que fue el que se tendió como material aligerado por encima del tepetate, conservó un tamaño máximo de agregado de 4" y se colocó en capas con un espesor máximo de 50 cm, garantizando una densidad relativa del 95%, alcanzada por impacto conforme a lo que marca la norma NOM C-164. El valor relativo de soporte verificado por el laboratorio fue también del 20%, tomando en cuenta el cumplimiento de los siguientes parámetros:

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

5.3.2.3 Grava controlada (granulometría variada)

Los pavimentos de restitución fueron de tipo flexible, atendiendo a las estructuras viales existentes, tanto en espesor como en material utilizado. Tanto las capas de sub-base y base

(grava controlada), como los demás elementos, se conformaron de acuerdo con la siguiente tabla de características:

Capa o elemento del pavimento restituído	Características
Sub-base	<ul style="list-style-type: none"> - Espesor: 20 cm - Compactación AASHTO modificada (T-180): 95% mínimo - Tamaño máximo del agregado: 1 ½" - Contenido de finos: 20% máximo - Valor relativo de soporte: 80% mínimo - Equivalente de arena: 35% mínimo - Valor cementante: 3 kg / cm² - Límite líquido: 30% máximo - Índice plástico: 6% máximo - Contracción lineal: 4% máximo
Base	<ul style="list-style-type: none"> - Espesor: 15 cm - Compactación AASHTO modificada (T-180): 100% mínimo - Tamaño máximo del agregado 1 ½" - Contenido de finos: 10% máximo - Valor relativo de soporte: 100% mínimo - Equivalente de arena: 40% mínimo - Valor cementante: 3 kg / cm² - Límite líquido: 30% máximo - Índice plástico: 6% máximo - Contracción lineal: 3.5% máximo
Riego de impregnación	<ul style="list-style-type: none"> - Debe verificarse previamente el cumplimiento de las características de la base sobre la cual se va a trabajar. - No debe haber partículas sueltas, por lo que se recomienda un barrido previo del área - Producto asfáltico: FM-1 - Relación: lt / m² - Penetración: 4 mm mínimo - Absorción total: 24 hr máximo - Condición óptima de aplicación: calor extremo - Acabado: cepillado para retirar excesos - Fraguado: lento (reposo de 48 horas)
Riego de liga	<ul style="list-style-type: none"> - No debe haber partículas sueltas después del cepillado del riego de impregnación - Producto asfáltico: FR-3 - Relación: 6 lt / m² - Fraguado: rápido (30 minutos)
Carpeta asfáltica	<ul style="list-style-type: none"> - Espesor: 10 cm - Compactación Marshall: 95% mínimo - Temperatura de colocación: 115 °C - Temperatura de terminado: 70°C - Permeabilidad 6% máximo - Material pétreo de tamaño máximo de 1", contracción lineal del 2% (máximo), desgaste máximo del 40%, absorción del 7% (máximo) y equivalente de arena máximo del 55%. - Cemento asfáltico tipo 6, con reblandecimiento a los 50°C, penetración retenida máxima del 50%, pérdida por calentamiento del 1%, desprendimiento por fricción máximo del 25%, estabilidad mínima de 700 kg, 12 % de vacíos ya colocado y flujo de 2 a 4 mm.

Cuando el espesor de la capa nueva presentó espesores de capa, diferentes a los existentes, se consideró una zona de transición con una longitud de 3.0 m mínimo; además, para

las juntas entre porciones de pavimento restituído y existente, se debe limpiar perfectamente la zona de unión para aplicar un riego de liga

5.3.3 Utilización de geotextil en zona de vialidades (contención de finos)

Dadas las condiciones de vibración que se generan en el terreno que subyace a las vialidades, resulta necesario utilizar estos materiales, para evitar que por el continuo movimiento haya paso de finos de un estrato a otro, ya que esto genera vacíos que a la larga se manifiestan como asentamientos o hundimientos de la carpeta. En este proyecto, el geotextil evitó que los materiales finos de la grava controlada de granulometría variada pasaran al estrato de tezontle, en donde, dadas las características de este material, hubiera resultado muy fácil que se generara inestabilidad por el fenómeno descrito.

En el caso de las zapatas, cuya área de relleno en planta cayó dentro de una vialidad, se utilizó geotextil no tejido, fabricado con fibras no biodegradables de poliéster.

Las características de este material son las siguientes:

- Espesor de 1.2 mm
- Resistencia a la perforación de 30 kg
- Resistencia a la tensión de 1.1 ton /m
- Permeabilidad de 0.09 cm / s

Una vez definida el área donde se requirió la colocación de este material, se procedió a tenderlo, tomando en cuenta traslapes de 1.0 m, sobre los cuales se colocaron paladas de grava controlada para evitar deslizamientos y garantizar su funcionalidad. Por otra parte, en las zonas donde no hubo traslapes, bastó con colocar una palada del material de relleno por cada 5 m², para que el geotextil no se desplazara por la acción del viento.

5.3.4 Maquinaria

Para las actividades de acomodo y compactación de los materiales de relleno, se utilizó un rodillo vibratorio de autopropulsión y doble tambor marca INGERSOLL RAND, modelo DD-23, con un peso total de 2,479 kg y una potencia de 31 HP. Este rodillo funciona con diesel y posee un tanque de 68 litros de capacidad

Dadas las funciones de esta máquina, y la versatilidad de su uso, fueron suficientes tres de ellas para satisfacer las necesidades de todo el tramo elevado.

5.3.5 Especificaciones del agua para llenado de celdas

Una vez colados todos los elementos del cajón, y descimbrada la losa tapa, se construyó el registro de llenado y verificación de niveles, el cual coincide con el registro de recuperación de cimbra de las celdas centrales. El nivel de remate de este registro se llevó 80 cm arriba del nivel de terreno natural en todos los casos, para emboquillarlo y construirle una tapa de concreto de 60 x 60 x 5 cm de espesor, armada con una pequeña parrilla de varilla del número 3 a cada 15 cm en ambos sentidos.

Este registro es el único que se necesita para el llenado y la verificación del nivel de agua en el interior de la zapata, dado que en cada una de las contratraves se colocó un paso con tubo de PVC de 2" de diámetro, para la intercomunicación de las celdas.

El agua utilizada para estos fines fue agua tratada, y el nivel máximo, de acuerdo con la especificación, marcaba que debía tomarse hasta el punto más bajo, donde se unen las contratraves y la losa tapa, debido a que si se rebasaba este nivel, el agua escaparía por la junta fría existente en este punto.

Para evitar que el agua pasara entre la losa de fondo y las contratraves, todas las celdas fueron construidas con un chafán en las aristas del fondo, para evitar pérdida excesiva del nivel de agua en el interior durante la vida útil estimada, sin embargo, se considera un programa semestral de monitoreo de los niveles, para rellenar las zapatas que así lo requieran

5.3.6 Referencia de actividades al catálogo de Precios Unitarios

A continuación, se mencionan algunos de los conceptos mayormente usados para el cobro de estos trabajos y, aunque son de carácter muy general, son sumamente representativos porque los volúmenes manejados fueron muy grandes

No.	CONCEPTO	UNIDAD
1	Suministro e inyección de agua en celdas de cimentación de acuerdo con las especificaciones del proyecto	M ³
2	Suministro y colocación de membrana geotextil no tejida en zonas aledañas a vialidades de acuerdo con el proyecto de vialidades coincidentes	M ²
3	Impermeabilizante a base de película impermeable selladora exterior, según proyecto	M ²
4	Impermeabilizante a base de película impermeable adherente exterior, según proyecto	M ²
5	Suministro y colocación de tezontle en greña	M ³
6	Relleno con material limo - arenoso (tepetate), en capas no mayores de 30 cm, compactado al 90% de la prueba Proctor	M ³
7	Suministro y colocación de sub - base de grava controlada de 20 cm de espesor, compactada al 95% de la prueba Proctor	M ³

No.	CONCEPTO	UNIDAD
8	Suministro y colocación de base de grava cementada de 15 cm de espesor, compactada al 100% de la prueba Proctor	M ³
9	Suministro y colocación de carpeta asfáltica de 10 cm de espesor, incluye riego de impregnación, riego de liga y sello de cemento	M ²

CAPÍTULO 6 “Fabricación y Montaje de Trabes “

El principio fundamental de la solución elevada es la construcción de un viaducto a base de traveses prefabricados apoyados sobre columnas, por el cual pueda pasar el convoy. El proceso de prefabricación de las traveses se llevó a cabo en sitio, de acuerdo con un sistema denominado “prefabricación a pie de montaje”. Las piezas que conforman el viaducto son traveses de concreto presforzado tipo cajón, o aligeradas de dimensión variable, la cual atiende al trazo, al alineamiento horizontal y al alineamiento vertical.

La superestructura presenta una configuración determinada por marcos de concreto paralelos al eje de trazo, espaciados uno de otro y unidos entre sí por estas traveses prefabricadas. El marco tipo está compuesto por una travesa soportada en las dos columnas de cada apoyo, a esta pieza se le denomina travesa de apoyo (TA), y consta de un volado hacia cada lado del apoyo, que se toma a partir de cada una de las columnas donde descansa la pieza. Sobre dos volados de apoyos contiguos se coloca la travesa central (TC), cuya función es unir un marco con otro, esta estructuración se repite a lo largo de todo el tramo.

Las zonas de transición, de superficial y subterráneo a elevado, se resolvieron con estribos y aereplenes, que son estructuras de concreto reforzado coladas en sitio, en donde descansa uno de los extremos de la última travesa (TC) en cada extremo del tramo elevado.

La distancia promedio entre las columnas de un mismo apoyo es de 8 m, mientras que entre columnas, de un apoyo a otro, los valores típicos fueron desde los 15 hasta los 30 m. Por otra parte, las alturas a las que se montaron estos elementos fueron desde los 7 hasta los 13 m y estuvieron determinadas por la rasante, ya que como en toda vía terrestre, éste es el nivel que rige.

Solamente en las transiciones se llegó a tener columnas muy pequeñas y, por ende, las alturas de montaje también disminuyeron (*Figura 6.1*).

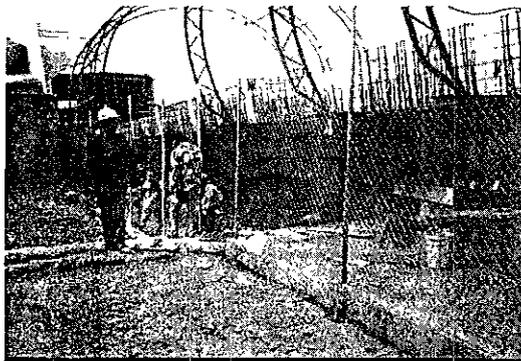


Figura 6.1

6.1 Armado de moldes

Para la prefabricación de las traves, se construyeron moldes de placa de acero rodada que pudieran ser trasladados a través de rieles, de acuerdo con el sistema de fabricación a pie de montaje que se estableció. Las piezas con las que se fabricaron estos moldes fueron unidas mediante soldadura de arco eléctrico, en un proceso que se llevó aproximadamente tres semanas por cada uno. Para las traves del tramo elevado de la línea B, se fabricaron 4 moldes, dos para las traves de apoyo, y dos para las traves centrales o de conexión, y cada par de ellos fue fabricado en cada uno de los extremos del tramo, generando así dos frentes de ataque.

6.1.1 Molde para trabe de apoyo

Este molde fue el primero que se fabricó en ambas cabeceras del tramo, dado que el proceso constructivo descrito requiere que se coloquen por lo menos dos traves TA para que la trabe TC pueda ser montada. En sí, el molde se fabricó con la misma geometría para los dos tipos de trabe, con únicamente dos variantes, la longitud y los huecos en el lecho inferior donde embanan los dados superiores de las columnas al momento de montar las traves de apoyo.

La longitud promedio de las traves de apoyo fue de 15 m, por lo que el molde se construyó de 18 m de largo; ya que la cimbra tapón para los extremos de cada una de las piezas tuvo un esviaje distinto para poder cumplir con el alineamiento horizontal del trazo, es decir, el despiece fue siempre distinto y atendió al grado de curvatura principalmente.

En los tramos rectos esta situación no se presentó y la variación se dio únicamente en la longitud requerida por cada una de las traves. La verificación topográfica de todas estas características geométricas fue determinante para que no se presentaran problemas de incongruencia durante los montajes, ya que cualquier error, por pequeño que fuera, representaba riesgos potenciales de sobrecosto.

6.1.2 Molde para trabe de conexión o trabe central

Una vez que se terminó de fabricar el molde para las traves de apoyo, se iniciaron los trabajos referentes a la fabricación de este segundo tipo de molde, que presenta la misma geometría general, con la diferencia de que no se dejan preparaciones en el lecho bajo. La longitud de cada uno de los dos moldes para traves centrales fue de 30 m, considerando que la trabe más larga era de 27 m. Las demás consideraciones para la fabricación de estos moldes fueron similares a las del inciso anterior, a excepción de la cimbra tapón, cuya configuración varió de acuerdo con el principio de montaje de las traves TC, que en lugar de tener una preparación de apoyo en los extremos para recibir otra trabe, tienen una estructura de ensamble articulado. El esviaje de esta cimbra tapón en cada pieza fabricada también fue variable y atendió a los mismos

factores del trazo. Los sobreanchos generados en el viaducto por las curvas horizontales se absorbieron con nichos en el lecho superior de las trabes, de tal forma que la losa superior tuvo que llevar una frontera más alejada del eje en el sentido transversal, tanto para trabes de apoyo como para trabes de conexión. En la *Figura 6.2* se puede observar la configuración en planta de los moldes utilizados.

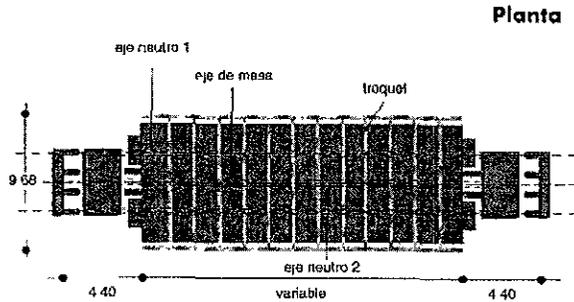


Figura 6.2

6.2 Proceso de fabricación de trabes

El sistema de fabricación de trabes a pie de montaje, con el cual se trabajó en el tramo elevado, se aplicó de acuerdo con la secuencia que se muestra en la *Figura 6.3*:

Receta para trabes	
Concepto	Tiempo (hrs.)
Preparación y limpieza	2
Colocación, armado y prestuerzo longitudinal	2
Tensado de los torones longitudinales	2
Colocación de cimbra interior	2
Armado de losa superior y colocación de prestuerzo transversal	6
Tensado transversal	2
Colado en una sola etapa	4
Reposo trabe	2
Curado a vapor	10
Reposo trabe	2
Destensado transversal	2
Destensado longitudinal	2
Desmoldé de trabe	2
Detallado de pieza	6
Montaje	2
Total	48

Figura 6.3

Adicionalmente, también se considera.

1. Movimiento y tendido del balasto a la siguiente posición
2. Tendido de rieles a la siguiente posición
3. Desplazamiento del molde a la siguiente posición
4. Repetición de la secuencia

Atendiendo a este orden, se presenta a continuación una descripción particular de las etapas principales que implica este proceso, destacando los aspectos más relevantes en lo que a procedimiento constructivo se refiere, de tal suerte que sin perderse en los detalles se pueda entender la factibilidad de la solución adoptada, y la facilidad operativa del sistema

6.2.1 Armado

Para el armado principal se utilizaron varillas de tres diámetros distintos. En el sentido longitudinal, varillas del número 10 para el lecho inferior, y del número 8 para el lecho superior. Por otra parte, el refuerzo transversal lo conformaron estribos y bastones de refuerzo habilitados con varilla del número 4, dando la geometría a la pieza en la zona de cajón. Los muretes intermedios que dan rigidez a la trabe fueron armados también con varilla de media pulgada.

El recubrimiento mínimo libre fue de 2 cm, y el acero de refuerzo utilizado cumplió con una resistencia de $f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$, los anclajes y traslapes se trabajaron de acuerdo con la tabla de detalles de refuerzo especificada por la proyectista, con la restricción general de no traslapar más del 33% del acero en una misma sección. Adicionalmente, el acero utilizado para las placas y accesorios metálicos auxiliares para el izaje de las piezas cumplió con la Norma ASTM A-36 en todos los casos.

Como parte del armado, se colocaron unos pasadores con aislador denominados plintos, mismos que se dejaron fuera del colado a manera de preparaciones para anclar posteriormente la malla equipotencial y los macizos para la fijación de vías. El aislamiento entre el armado principal de la trabe y estas preparaciones se verificó para fines operativos, ya que los responsables de la obra electromecánica exigieron que esta condición fuera cumplida para poder recibir los trabajos de obra civil y proceder con las actividades que les correspondían.

El acero de presfuerzo posee un alto contenido de carbono y se emplea en forma de alambre o torones, estos últimos son cables constituidos por un conglomerado de alambres helicoidales perfectamente trenzados que rodean un alma del mismo material. Estos cables alcanzan un diámetro total igual a doce veces el diámetro nominal del alambre utilizado de acuerdo

con las especificaciones de la Sociedad Americana para pruebas de Materiales (ASTM) y a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) respectivas.

El diseño de traveses hechos con concreto presforzado se debe a que es el que se considera más adecuado para estructuras de claros largos que deben soportar grandes cargas concentradas. Además, esto permite que se tengan estructuras más esbeltas, ligeras, eficientes y estéticas.

6.2.2 Cimbra de cajones aligerantes

Una vez colocado el armado principal del lecho bajo, se procedió a habilitar los cajones aligerantes en la parte central de la trabe, ubicándolos de tal manera que se cumpliera con el recubrimiento marcado por proyecto y con el grosor de los muros intermedios que, a final de cuentas, fueron los que determinaron la rigidez de cada pieza.

El habilitado de estos cajones se llevó a cabo fuera del molde de la trabe y se introdujeron con la ayuda de una grúa menor, con el fin de evitar deformaciones en la geometría de la sección, a consecuencia del trabajo realizado sobre una cama de acero. En la parte superior de cada cajón se dejó una boquilla o registro de recuperación de la cimbra utilizada, la cual se extrajo después del curado y antes del montaje.

Las fronteras para la losa superior de la trabe -en el sentido longitudinal- y la cimbra tapón fueron habilitadas una vez que se tendieron los torones en ambos sentidos sobre los cajones aligerantes, ya que esta estructura sirvió de apoyo en cierta manera para las actividades de tensado, que se ejecutaron posteriormente.

6.2.3 Tensado

El término pretensado se aplica a cualquier método de presfuerzo en el que, como parte del refuerzo, se tensan cables de manera previa al colado de las piezas, con el fin de que al quedar ahogados y apnionados por la mezcla, proporcionen soporte al elemento del cual forman parte, al momento de liberar los esfuerzos de tensión inducidos.

Se recurre al presfuerzo con el objeto de utilizar por completo las propiedades del acero de alta resistencia, llevándolo más cerca de su límite de fluencia ante tensión. El acero, el anclaje y la adherencia generan esfuerzos y deformaciones deseadas que ayudan a reducir o eliminar las grietas, de tal manera que se aprovecha al máximo la sección total de concreto del elemento, y no sólo aquella que se encuentra por encima del eje neutro.

Con base en lo anterior, se explica el porqué de la utilización de materiales de mayor resistencia para el concreto presforzado con respecto al reforzado, pues al optimizar las características de la sección del elemento, se puede también mejorar el aprovechamiento de las características y especificaciones propias del acero y del concreto utilizados.

Se utilizaron dos diámetros de torón para el tensado, con las siguientes características:

Diámetro de torón (pulgadas)	Área transversal (cm ²)	fsr (kg/cm ²)	Fuerza de tensión (kg/cu)	Fy (kg/cm ²)
3/8	0.57	19,000	7.51	2,530
1/2	0.98	19,000	13.00	2,530

Dadas las características del tensado que se llevó a cabo como parte del presfuerzo aplicado, se restringió la perforación y balaceo de las trabes, sin importar el fin de esta actividad, pues el diseño al límite bajo el cual se trabajó, obligó a que se redujeran algunas holguras con el fin de optimizar económicamente los volúmenes de trabajo.

6.2.4 Colado y curado a vapor

El concreto utilizado para la fabricación de las trabes fue de un $f_c = 400 \text{ kg / cm}^2$, elaborado con cemento Portland tipo I, de acuerdo con las normas de materiales a las que se hizo referencia en el capítulo 4. El tamaño máximo del agregado grueso fue de media pulgada, considerando las dimensiones y la geometría de la trabe, además de la trabajabilidad del concreto, ya que se adicionó un superfluidizante que ayudó a que el revenimiento pasara de 10 a 20 cm, lo que permitió un colado más eficiente. Para lograr un acabado aparente adecuado, se utilizó un inductor de aire al 6% en la mezcla, tal y como se hizo para las columnas.

La colocación se llevó a cabo con una bomba pluma de 28 m en todos los casos, lo que incrementó el costo directo por m^3 en un 9%, pero duplicó los rendimientos con respecto a otras alternativas de colocación, ya que se llegaba a colar una pieza de 72 m^3 en aproximadamente dos horas. Para poder cumplir con las condiciones de colado expuestas, la supervisión exigió a la constructora un sistema de comunicación expedito con la planta de concreto, tanto para una verificación inmediata de las características del material utilizado, como para resolver eventualidades de suministro en cuanto a intervalos entre unidad y unidad transportadora, para evitar la formación de juntas frías.

También se exigió que durante estos colados estuviera presente un técnico especializado en concreto presfuerzo, con el fin de que cada etapa se desarrollara bajo los lineamientos del proyecto, de acuerdo con lo que marcaba la especificación y a la verificación constante que este tipo de procedimientos requieren.

El curado a vapor atendió a las mismas especificaciones comentadas en el procedimiento de fabricación de pilotes, cuidando que el desmoldo no se realizara antes de 24 horas, o una vez que el tronado de cilindros garantizase un 80% de resistencia alcanzada.

6.2.5 Corte de torones

Para llevar a cabo esta actividad, se requería también que el concreto hubiera alcanzado el 80% de la resistencia de proyecto, ya que la liberación de los cables de tensado provocaba esfuerzos sumamente altos, y es inaceptable que en una pieza de concreto presforzado se pierda la adherencia entre los materiales, pues esto altera de manera sustancial las propiedades de las unidades estructurales

Una vez que la supervisión autorizaba el corte, y antes de iniciar el retiro de la cimbra tapón y de frontera, se procedía a liberar las estructuras de apoyo de los dispositivos de tensado para poder cortar sin riesgo de que existiera proyección de piezas, lo que podía ocasionar accidentes.

El único detalle que hubo que cuidar durante el desarrollo de este trabajo fue el hecho de que en las puntas (extremos) del cable se presentara pérdida de la forma entre los alambres que conformaban el torón, ya que posteriormente se tuvieron que interconectar con otro tramo de éste mediante coples de unión, cuya entrada era sumamente ajustada. El corte se realizó de un solo tajo a cada cable, con pulidoras de disco, y no tomó más dos horas por trabe

6.3 Sistema de extracción de pieza y montaje

Este sistema involucró un ciclo de actividades que se repitió tantas veces como piezas se montaron, y aplicó tanto para traveses de apoyo como para traveses centrales o de conexión. Estas últimas necesitaban dos traveses de apoyo para poder ser montadas, por lo que el tren de trabajo se estableció con el molde para TA a la cabeza y el molde para TC detrás. La coordinación en la fabricación de uno y otro tipo de trabe fue determinante, es decir, no se asignó un frente de trabajo por molde, sino que el par de moldes representó un solo frente de trabajo en el que, mediante la asignación parcial de tareas, se alternaron las cuadrillas entre una y otra trabe, optimizando la cantidad de personal y minimizando los tiempos ociosos.

6.3.1 Armado de marcos y preparación

Cada equipo de montaje constó de dos marcos de estructura metálica sobre neumáticos, que se armaron en sitio con secciones tipo cajón reforzadas con diafragmas interiores de placa de 1" a cada metro y medio, ya que la altura total que se alcanzó fue de 20 m.

Estos marcos contaban con dispositivos de desplazamiento sobre el travesaño (en el sentido perpendicular al eje de trazo en planta), los cuales desplazaban los motores de izaje para poder dar cierta versatilidad a la maniobra. En la *Figura 6.4* se observa el perfil de uno de estos marcos, y se pueden comparar sus dimensiones con la escala humana

6.3.2 Tendido y nivelación de balasto

Dado el peso promedio de las traveses (140 toneladas), el molde no se pudo montar sobre neumáticos, pues se habrían generado cargas concentradas inaceptables; por lo tanto, lo que se hizo fue utilizar una cama de balasto para montar vías con durmientes sobre las cuales se pudiera desplazar el molde como si fuera un tren. Al repartir la carga mediante este arreglo, se garantizó que no hubiera hundimientos, y se pudo trabajar conforme a lo planeado.

El tendido de balasto se realizó para dos posiciones cada vez, permitiendo así que, de manera paralela al proceso de fabricación de una pieza, se pudieran tender las vías hacia la siguiente posición, de tal manera que el molde nunca permaneciera ocioso. La nivelación de estas camas de material se realizó con verificación topográfica.

6.3.3 Tendido y nivelación de vías

Esta etapa se trabajó en coordinación directa con el tendido y nivelación del balasto, y también requirió supervisión topográfica continua, pues el correcto colado de cada pieza dependía de que el molde presentara las características adecuadas de plomeo y nivelación. También el tendido de vías se ejecutó para dos posiciones en cada caso, pues como se mencionó antes, el sistema tenía como objeto principal eliminar tiempos de espera por factores de transporte, fabricación y montaje. En la *Figura 6.6* se puede apreciar el sistema de desplazamiento de los moldes, con base en el tendido de balasto y vías

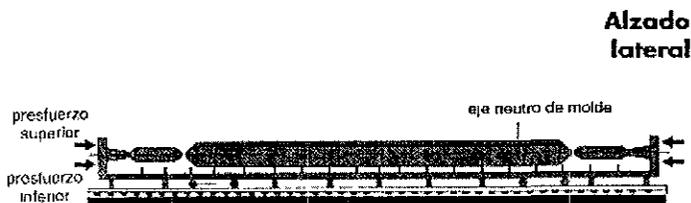


Figura 6.6

6.3.4 Extracción de la pieza y montaje

Siguiendo la secuencia expuesta, y una vez terminado el proceso de prefabricación de las piezas, se esperó la liberación de éstas por parte de la supervisión, en cuanto a la resistencia alcanzada por el concreto (80%), y se procedió a iniciar el desmolde, para el cual se colocaban los marcos en la posición definitiva donde se pudiera extraer la pieza, maniobrar y montarla. Dentro de cada trabe se dejaron ahogados los ganchos de izaje (8 en total), fabricados de placa de dos pulgadas de espesor y soldados al armado principal, de donde se estrobó la pieza con cables de

acero y un balancín por cada 4 ganchos, para evitar que se columpiara la trabe y desestabilizaran los marcos. Una vez que se tensaban los cables, se iniciaba el izaje de la pieza, utilizando un sistema de radiocomunicación entre los operadores de las grúas de marco, los maniobristas y el personal de topografía, para llevarla hasta una altura en que el lecho bajo hubiera superado ya el nivel del apoyo. Una vez logrado esto, se centraba la pieza en el sentido perpendicular al eje de trazo, hasta quedar sobre la proyección de sus apoyos, para luego ir bajando hasta hacerla embonar sobre los dados de las columnas en el caso de las TA, y sobre los cojinetes de neopreno, en el caso de las TC (Figura 6.7). Posteriormente, se verificaron las referencias topográficas, se liberaron los estrobos y se procedió al movimiento del molde.

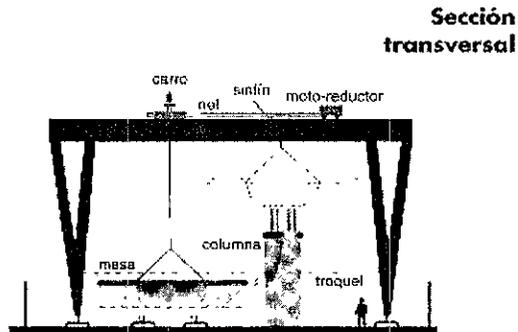


Figura 6.7

Hubo muy pocos casos en los que fue necesario utilizar grúas viajeras para realizar el montaje de las piezas, ya fuera por razones de limitación de espacio para la entrada de los marcos, o porque se trataba de zonas difíciles en cuanto a la cercanía con vialidades. Los casos más comunes fueron los segundos, en los que se tuvieron que realizar montajes nocturnos en las horas de menos tránsito (Figura 6.8).

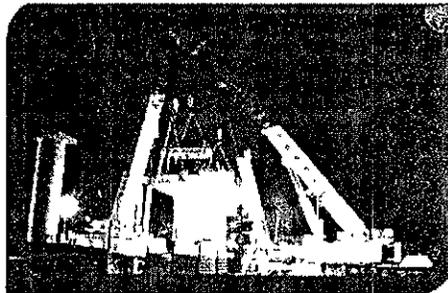


Figura 6.8

6.3 5 Traslado de molde a la posición siguiente

Terminada la maniobra, se procedió a la limpieza de la superficie de contacto del molde y al movimiento del mismo a la siguiente posición de colado (*Figura 6.9*), tirando de él con la ayuda de un camión de volteo al igual que se hizo con los marcos, y una vez ubicado debajo de donde se tenía que montar la trabe por fabricar, se fijaba mediante cuñas entre la vía y las ruedas. En este mismo momento se comenzaba a desarmar la vía en el tramo de la posición anterior, para poder hacer el movimiento de balasto lo antes posible, mientras que de manera simultánea se iniciaban las actividades de fabricación en el interior del molde.

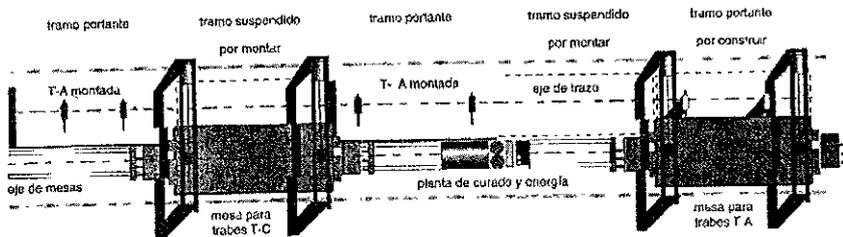


Figura 6.9

6.4 Particularidades de la trabe de apoyo

La trabe TA tipo es una sección cajón con patines superiores, el ancho de éstos varía de 2.34 a 3.20 m, y el ancho total de la trabe es de 7.86 m en unos tramos y de 8.52 m en otros, dependiendo del sobreancho generado por las curvas horizontales. Longitudinalmente, el elemento tiene tramos macizos en los extremos y en las zonas de conexión con columnas. Con base en la longitud y el peralte, se construyeron tres tipos de estas trabes:

1. Trabes con claro central de 11.0 m y volados de 4.5 m para el apoyo de las trabes TC. El peralte en éstas fue constante e igual a 1.40 m en toda su longitud.
2. Trabes con claro central de 11.0 m, con un volado de 8.80 m y otro de 4.50 m para el apoyo de las trabes TC. El peralte en éstas fue constante e igual a 1.40 m entre columnas y en el volado menor, mientras que en el volado mayor el peralte fue variando linealmente hasta llegar a los 80 cm en el extremo.
3. Trabe con claro central de 7.0 m entre columnas y volados de 3.5 m a cada lado, con peralte constante de 1.40 m en toda su longitud.

Al momento de montar y nivelar estas traveses, se coló la zona de conexión con el mismo tipo de concreto de la columna ($f_c = 300 \text{ kg / cm}^2$), para así rigidizar los marcos formados en cada apoyo. Por otra parte, se verificó la horizontalidad de los cojinetes de neopreno y la verticalidad de los tornillos de fijación para recibir las traveses TC.

6.5 Particularidades de la trabe de conexión

La trabe TC tipo es también una sección cajón con patines superiores, pero con tramos macizos únicamente en los extremos. La longitud de estas piezas varió desde los 6.0 hasta los 27.0 m, y su peralte fue siempre constante e igual a 1.40 m. El ancho total de la sección de la trabe y del cajón presentó las mismas variaciones en dimensión que las traveses TA, para dar continuidad a la estructura.

Después de llevar a cabo el montaje de estas piezas, se verificó que coincidieran los elementos de apoyo en los extremos, y se colocaron placas fijas y corredizas de manera alternada, para permitir que trabajaran las juntas constructivas por pares, es decir, en cada TC se tenían un apoyo fijo y uno móvil (uno en cada extremo), con lo que se formaba una unidad completa con un marco de apoyo y una trabe TC.

Durante el desarrollo de la obra se presentaron eventos sísmicos que permitieron verificar el correcto funcionamiento de este sistema, con resultados satisfactorios, ya que previo pentaje del tramo, se determinó que las juntas habían trabajado perfectamente y que los apoyos fijos habían resistido los movimientos sin alteración alguna.

Así fue como poco a poco se fue conformando el viaducto elevado que une al tramo subterráneo y al tramo superficial de la línea B, como se muestra en las Figuras 6.10 y 6.11 quedando todo listo para que se desarrollaran las actividades relativas a obra electromecánica

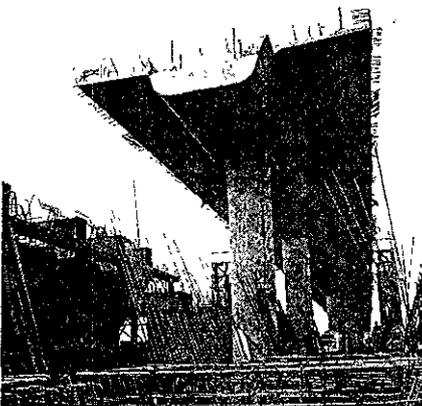


Figura 6.10

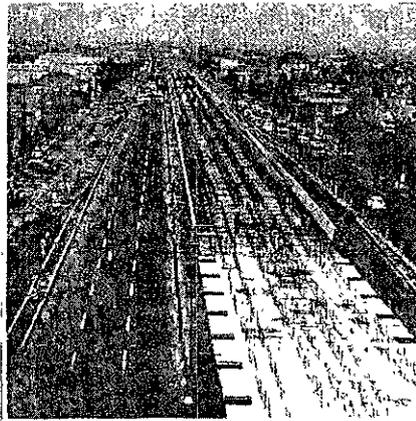


Figura 6.11

6.6 Referencia de las actividades al catálogo de Precios Unitarios.

El cobro de estas actividades se llevó a cabo por trabe montada, de acuerdo con el tipo de pieza de que se tratara y a las dimensiones de la misma

No.	CONCEPTO	UNIDAD
1	Fabricación, suministro, estiba y montaje de traveses prefabricados, incluye acarreo, colocación definitiva, accesorios de fijación, colados adicionales, juntas mecánicas, tipo TTV – 1, de X m de longitud por X m de ancho	Pza
2	Fabricación, suministro, estiba y montaje de traveses prefabricados, incluye acarreo, colocación definitiva, accesorios de fijación, colados adicionales, juntas mecánicas; tipo TTV – 1A, de X m de longitud por X m de ancho	Pza
3	Fabricación, suministro, estiba y montaje de traveses prefabricados; incluye acarreo, colocación definitiva, accesorios de fijación, colados adicionales, juntas mecánicas; tipo TTV – 1B, de X m de longitud por X m de ancho	Pza
4	Fabricación, suministro, estiba y montaje de traveses prefabricados, incluye acarreo, colocación definitiva, accesorios de fijación, colados adicionales, juntas mecánicas; tipo TTV – 2, de X m de longitud por X m de ancho	Pza
5	Fabricación, suministro, estiba y montaje de traveses prefabricados; incluye acarreo, colocación definitiva, accesorios de fijación, colados adicionales, juntas mecánicas, tipo TTV – 2A, de X m de longitud por X m de ancho	Pza
6	Fabricación, suministro, estiba y montaje de traveses prefabricados, incluye acarreo, colocación definitiva, accesorios de fijación, colados adicionales, juntas mecánicas, tipo TTV – 2B, de X m de longitud por X m de ancho	Pza

CAPÍTULO 7 “ Programación de la Obra “

Para poder abordar con propiedad todo lo relacionado con la programación de la obra, a continuación se presentan algunas definiciones y consideraciones generales, como parte del fundamento teórico que da pie a que los criterios técnicos y experimentales sean aplicados correctamente.

Programa

Se entiende por programa, la ordenación de las variables que intervienen en un proceso, ubicándolas en el tiempo, de acuerdo a las prioridades y necesidades que se tengan, ya sea de materiales, de recursos humanos, de maquinaria, o de cualquier otro tipo.

Rendimiento

Es la capacidad de llevar a cabo una actividad con cierto ritmo de trabajo, es decir, lo que se produce en la unidad de tiempo. Los rendimientos tienen injerencia directa en la programación, dado que con base en éstos, se puede tener una idea del avance general que se logra en una obra.

Seguimiento

Es el proceso continuo de revisión, en este caso de programas, mediante el cual es posible analizar constantemente la situación real de la obra. Además, permite determinar el incremento de recursos en una cierta actividad, para no perder el apego que se debe guardar conforme a los programas establecidos para la realización de trabajos.

En toda clase de técnica que involucre la programación, deben tomarse en cuenta los volúmenes, los tiempos y los rendimientos, para poder definir tanto la capacidad productiva como la eficiencia operativa de los procedimientos aplicados.

Estos tres elementos deben estar no sólo considerados, sino contenidos en los programas y rutas críticas, ya que son los que determinan, cuantitativamente, tanto el posible avance, como el avance real.

El proyecto del Metropolitano Línea B se inició en diciembre de 1993, después de la licitación correspondiente, y de acuerdo con el plan inicial de desarrollo propuesto por el cliente, el cual se muestra en la tabla siguiente

ETAPA	FECHA
<i>Inicio del proyecto</i>	Diciembre de 1993
<i>Inicio de la construcción</i>	Octubre de 1994
<i>Pruebas estáticas</i>	Primer semestre de 1999
<i>Energización en 750 VCD</i>	Primer semestre de 1999
<i>Pruebas dinámicas</i>	Primer semestre de 1999
<i>Marcha en vacío</i>	Segundo semestre de 1999
<i>Inicio de operaciones</i>	Segundo semestre de 1999

Una vez asignada la Proyectista, y de acuerdo al avance que se dio en la ingeniería, se decidió licitar la construcción en tres etapas, que correspondieron a las tres soluciones que tanto se han comentado (subterránea, elevada y superficial)

La obra civil se llevó a cabo de la siguiente manera: el tramo subterráneo fue el primero que se comenzó a trabajar en noviembre de 1994, y se terminó en enero del año siguiente. Dos meses después, se liberó el tramo elevado, y un mes después, el superficial; ambos asignados a la misma constructora, con una fecha de terminación a febrero de 1998. Ésta fue la primera reprogramación, ya que en el programa inicial se tenía contemplado que para diciembre de 1998 se debía tener terminada la obra civil. Posteriormente, se planeó que la obra electromecánica debía ser llevada a cabo a partir de septiembre de 1997, de acuerdo con la liberación del paso de vía.

A la fecha, se terminó ya la obra civil, pero la obra electromecánica sigue en proceso aun cuando debió haber quedado terminada en abril de 1999, por lo que la reprogramación continúa haciéndose presente con un desfaseamiento global de cuatro meses, dado que de acuerdo con el plan inicial, para el primer mes de este año deberían haberse iniciado las pruebas estáticas.

Aunque es probable que para el primer semestre del año 2000 pueda dar inicio la puesta en servicio, nada garantiza que así sea; de hecho, la forma en que se ha dado el desarrollo del proyecto hasta el momento, de ninguna manera sugiere que así vaya a ser. Además, las actividades relacionadas con los acabados en estaciones apenas iniciaron en enero del presente año, y de acuerdo con el proforma presentado por la contratista asignada, estas actividades pueden llevarse 14 meses, sin considerar situaciones adversas que podrían acarrear atrasos

En este capítulo se analizan algunas de las causas generales que ocasionaron atraso en la construcción del tramo elevado de la línea, desde la asignación de los trabajos hasta el término de la obra civil.

El enfoque que se maneja es cualitativo más que cuantitativo, ya que siendo éste un trabajo avocado en su mayoría a procedimiento constructivo, se toman en cuenta factores de carácter operativo y de logística, como lo son las interferencias, la liberación de zonas de trabajo, la ponderación de actividades y las prioridades de acuerdo con los requerimientos del cliente

7.1 Programa general de obra

La etapa de planeación consiste en enunciar las actividades que constituyen la elaboración del proyecto, con el fin de que se haga de la manera más clara posible. Los trabajos se pueden dividir en un conjunto de actividades principales o de primer orden, a continuación se puede hacer una siguiente división (segundo orden), y seguir así sucesivamente hasta llegar a las actividades básicas del proceso, lo que, extrapolado a la ejecución de los trabajos, serían los precios unitarios.

Las actividades de primer orden son las denominadas "partidas" en Ingeniería Civil, y definitivamente representan las etapas principales de las que se puede hacer un análisis por separado, como un proceso independiente; en muchas ocasiones suelen tener un grado de complejidad muy elevado y muy distinto entre ellas. A continuación se muestra el programa de obra de la estación San Lázaro, el cual tiene una estructura muy similar a la del Programa General.

Las partidas están en secuencia y los volúmenes son los proyectados.

ESTACIÓN SAN LÁZARO																				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	1996												1997					
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
DESÍO VEHICULAR	Lote	1.00	■	■	■	■	■	■												
LIBERACIÓN DE INTERFERENCIAS	Lote	1.00	■																	
LIBERACIÓN DE AFECTACIONES	Lote	1.00	■																	
OBRAS INDUCIDAS	Lote	1.00	■	■	■	■	■	■												
FABRICACIÓN DE PILOTES	Pza	492.00		■	■	■	■	■												
PERFORACIÓN E HINCADO	M	35,728.00			■	■	■	■												
EXCAVACIÓN	M³	17,411.00			■	■	■	■												
ESTRUCTURACIÓN DE ZAPATAS	Pza	17.00			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
COLUMNAS	Pza	40.00				■	■	■	■	■	■	■	■	■						
MONTAJE DE TRABES	Pza	38.00					■	■	■	■	■	■	■	■						
ESTRUCTURA METÁLICA	Ton	94.00					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
TECHUMBRE	M²	4,460.00									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PARAPETOS	M	812.00							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ACCESOS	Lote	1.00									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
INSTALACIONES	Lote	1.00				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
OBRA EXTERIOR	Lote	1.00													■	■	■	■	■	■
PASO DE VÍA	M	768.00																		

Una vez enunciadas todas y cada una de las actividades que forman parte del proyecto, es necesario determinar el orden en que habrán de llevarse a cabo, y esto es como parte de una metodología, pero en realidad, cuando se segmenta en partidas, el orden es evidente. Sin embargo, debe ponerse cuidado dentro de estas etapas, pues dentro de ellas pueden darse ciertas alteraciones en el orden, por lo que el resultado esperado y el tiempo en que se espera lograrlo, también pueden alterarse.

El orden en que los trabajos se enlistan es sumamente importante, y es por eso que existe una forma de establecer el seguimiento adecuado, a través de la respuesta a las siguientes cuestiones:

- a. *De las actividades presentes, ¿cuál debe preceder a la analizada?*
- b. *¿Qué actividad o actividades no pueden realizarse hasta que se termine la que se está analizando?*
- c. *¿Qué actividad se puede iniciar simultáneamente a la analizada?*

Una vez establecido un orden preliminar, se debe realizar una revisión de las actividades que se incluyeron, y definir las que hayan hecho falta, lo que resulta más fácil, ya que se tiene cierta estructura de lo que se va a llevar a cabo.

La revisión consiste en lo siguiente:

1. Estudio de los planos y especificaciones para obtener un conocimiento completo del proyecto.
2. Realización mental del proyecto, y registro de las actividades que éste involucra.
3. Elaboración de un diagrama de flechas tentativo, incorporando las actividades listadas en el paso anterior
4. Verificación de que hayan sido incluidas todas las actividades en el diagrama de flechas.

La representación gráfica más utilizada en los programas de obra es el diagrama de barras o diagrama de Gantt, en el cual se pueden apreciar las fechas de inicio y término de cada actividad, así como las que se desarrollan de manera simultánea y aquellas cuyo inicio depende de la conclusión de otras de acuerdo al procedimiento constructivo. En éstas últimas es en donde se debe prestar especial atención, ya que cuando llega a haber un atraso en actividades críticas con

holgura nula, éste se refleja de manera directa en la actividad siguiente y el atraso global se incrementa

Por otra parte, cuando se tiene holgura libre entre actividades consecutivas, se puede ejercer cierto control sobre las duraciones, para cumplir los compromisos adquiridos sin alterar la programación de recursos

Una vez definida la ingeniería del tramo elevado se generó el programa general de obra con base en las partidas de trabajo principales consideradas de manera global. El programa general del tramo elevado se desglosó en programas particulares de cada partida, tomando los precios unitarios como elementos de evaluación de los mismos, es decir, se determinaron las duraciones que debía tener cada trabajo, y de acuerdo a ellas se asignó una posición en el tiempo a los conceptos del catálogo de precios, propuesto por la contratista y autorizado tanto por la proyectista como por la supervisión del cliente, quienes, finalmente, fueron los encargados de verificar que se cumplieran las fechas establecidas

Entre una de las tantas formas que existen para evaluar la eficiencia operativa de una obra, tenemos la evaluación de los trabajos con respecto a los programas. Esto refleja, con base en el apego que se tenga a ellos, el grado de planeación y la uniformidad de los procesos que se siguen. Tomando en cuenta que podemos establecer criterios variados para el análisis de los programas, hay que entender la complejidad que encierra el generar un orden en las actividades a realizar a lo largo de toda la etapa ejecutiva.

Una vez conciliados los programas de ejecución, la responsabilidad de que éstos se cumplieran fue de la contratista, quien debió cuidar que la asignación de recursos fuera la adecuada, para que no se presentaran atrasos imputables a ella. Cuando las condiciones de la obra impidieron el correcto desarrollo de las actividades de construcción del tramo elevado, fue necesario reprogramar las actividades afectadas, para evitar que durante la calificación de programas se reflejaran atrasos que no tenían que ver con la ejecución propiamente, para ello, se registraron en la bitácora de obra todas y cada una de las situaciones que se presentaron como una amenaza potencial de atraso en los trabajos. Cada obra es un caso particular, pero el fundamento teórico es el mismo, la diferencia radica en la forma en que se apliquen los criterios, según los factores que entran en juego.

Cada semana, la supervisión entregó al cliente una calificación de los programas de obra detallados, en los que, con base en un corte a la fecha, se cuantificaron los volúmenes de obra ejecutados por la constructora, y se obtuvieron los días de adelanto o atraso que se tenían, de acuerdo con el total de tiempo asignado para cada actividad, el volumen total por ejecutar y el volumen que se tenía ejecutado al día de la calificación.

Esta calificación de los programas se hizo por conciliación, es decir, la constructora y la supervisión revisaron en conjunto los programas bajo el criterio comentado, y firmaron de común acuerdo el conteo de los días, a favor o en contra.

7.2 Programas detallados de obra

Como ya se dijo, la planeación de la etapa de construcción la llevaron a cabo el residente de obra por parte de la DGCOSTC, el gerente, el jefe de superintendentes, los superintendentes y los jefes de obra de la contratista. Sin embargo, la colaboración de todos y cada uno de los técnicos involucrados resultó indispensable para detectar puntos finos en las actividades a realizar, sobre todo cuando alguna de éstas presentó algún detalle que no fue considerado en la asignación de tiempos, porque el final de una actividad, por lo general, involucra el inicio de otra; y los retrasos pueden llegar a desatarse en cadena.

El llevar la obra de acuerdo con el programa no fue tarea fácil, pues requirió de una organización adecuada y de un cotejo continuo de los avances logrados, según la prioridad que se asignó a cada actividad. Esta revisión constante de los programas permitió, entre otras cosas, una utilización más eficiente de los recursos disponibles, una verdadera supervisión por excepción (alteraciones al proceso), versatilidad en la elaboración de calendarios de obra y en la formulación de programas nuevos para las actividades fuera de proyecto. Además, esto permitió obtener pronósticos matemáticamente, con base en la teoría de sistemas y en la experiencia de los responsables involucrados, minimizando costos futuros y maximizando beneficios. Así pues, puede verse que la experiencia juega un papel fundamental en el apego a los programas.

Para poder llevar a cabo una asignación de recursos acertada, la contratista requirió de la elaboración de los denominados subprogramas de obra, cuya finalidad es establecer tanto la cantidad de recursos a utilizar en las diferentes etapas, como la rotación de los mismos entre los diferentes frentes de una obra. Esta tarea se delega a cada una de las disciplinas correspondientes, ya que se trata de criterios especializados que dependen de la experiencia, de la disponibilidad de recursos, del presupuesto y de la interrelación entre actividades paralelas. A continuación se presenta una descripción de los factores que mayor injerencia tuvieron en los criterios tomados.

7.2.1 Subprogramas

Una vez que se definió el programa general, se desglosó cada una de las partidas contenidas en él y se dio inicio a la elaboración del proforma de la obra por parte de la constructora. Cada uno de los tres frentes fue programado de manera independiente por los jefes de obra, para que finalmente se establecieran los subprogramas a nivel de superintendencia, que consistieron en una fusión de los anteriores.

Todos los programas deben ser revisados periódicamente por el encargado de la obra y sus colaboradores, para detectar factores que estén ocasionando algún tipo de atraso, o para fortalecer las actividades que están representando mayor avance de acuerdo con la jerarquía entre actividades, que ya se mencionó. Es evidente que esta revisión debe ser lo más objetiva posible si

en realidad se quiere sacar provecho de ella, no basta con mantenerse en programa, o dentro de una barra que todavía no parece tener problema. Se debe establecer un control tanto por actividad como por tiempo, mediante el cual se pueda tener información directa de un proceso a través del avance que éste refleje en el programa, y basándose en los subprogramas con los cuales se relaciona, de tal suerte que si se sabe que un suministro se va a retrasar, o una máquina no va a llegar a la obra conforme a lo planeado, se puedan establecer alternativas de acción sobre todo en el tiempo, para tratar de no alterar lo programado a nivel de partida.

7.2.1.1 Mano de obra

Es muy común que en la etapa de construcción se lleve a cabo la contratación y despido de los trabajadores a discreción, lo cual genera gastos administrativos y falta de continuidad en las plantillas de personal requerido. Cuando no se cuenta con una base de trabajadores para una cierta actividad, es decir, que hay entradas y salidas de trabajadores indiscriminadamente, se pierde tiempo, mientras que los nuevos se acoplan al sistema de trabajo. El objetivo primordial de la elaboración de un subprograma de mano de obra es definir desde un principio, la cantidad de personal de cada especialidad, que será necesario utilizar durante toda la obra, tratando de mantener siempre un costo directo que permita evitar despidos masivos.

La rotación de personal entre los diferentes frentes de trabajo es una alternativa muy buena para poder cumplir con esto, ya que si se planea bien el tiempo que se va a necesitar cada cuadrilla, se pueden minimizar los tiempos muertos y evitar contrataciones inducidas por presiones del programa de ejecución, que en la mayoría de los casos son innecesarias.

En el caso del tramo elevado, la programación de personal inicial no se cumplió, ya que hubo alteraciones al programa general por interferencias y adecuaciones al proyecto, lo que obligó a despedir gente especializada en ciertas tareas que se tuvieron que suspender temporalmente hasta que la proyectista definió los nuevos procedimientos a seguir. Si la contratista no hubiera hecho esto, el impacto en el costo directo hubiera sido desastroso, pues el personal no requerido habría estado generando sobrecostos no considerados en el presupuesto inicial.

7.2.1.2 Maquinaria

La importancia de este subprograma radica en que la maquinaria es la que mayores sobrecostos puede generar por tiempos muertos, ya que los periodos de renta de la misma no se consideran por tiempo efectivo. Existieron partidas dentro del programa general, en las que la maquinaria no jugó un papel determinante, situación que se aprovechó para asignar la menor cantidad de maquinaria distribuida en el tiempo a los tres frentes de trabajo, lo que ayudó a explotar al máximo el tiempo de renta, aun cuando en algunas ocasiones se tuvieron limitaciones y

se llegó a requerir de una máquina en dos frentes de manera simultánea, esta situación se resolvió alternando su utilización por turnos de trabajo.

Tomando en cuenta que se trató de un proyecto con una gran cantidad de interferencias, se puede decir que la asignación limitada de maquinaria dentro del subprograma correspondiente fue adecuada, pues el hecho de que se suspendieran temporalmente algunas actividades por las causas expuestas, no obligó a que hubiera tiempo ocioso de maquinaria por el hecho de tener siempre un frente donde se requería su utilización. En caso de que no hubiera sido de esta manera, es muy probable que se hubiera tomado la decisión de incrementar el número de máquinas rentadas para poder satisfacer las necesidades de la obra

El único caso en el que no se pudo optimizar la utilización de maquinaria bajo este criterio fue en el caso del pilotaje, ya que desde un principio se pensó en tres frentes de ataque, uno por cada frente de trabajo, y aun cuando se presentaron interferencias, no se pudo reasignar el equipo más que dentro del mismo tramo, pero este movimiento ocasionó sobrecostos no contemplados, sobre todo por el tiempo de traslados entre una y otra zapata por pilotear, cuando se alteró la secuencia programada.

7.2.1.3 Materiales

La programación de las actividades de suministro se basó principalmente en las áreas disponibles para almacenamiento, tanto en almacenes como en el sitio de la obra. La entrada y salida de materiales del almacén fue controlada conforme al sistema de calidad instituido, que permitió manejar los pedidos manteniendo una maximización continua de las áreas, ya que dado el continuo incremento en el costo de los insumos, fue necesario levantar pedidos con cierta premura aun cuando no se contaba con el espacio de almacenamiento requerido, para que se respetara una cierta cotización por parte de los proveedores. En estos casos, hubo que considerar incluso los tiempos de tráfico como holguras para el movimiento de los materiales entre el almacén y la obra.

El suministro de concreto se realizó de manera directa a la obra, ya que en este caso no se requiere almacenamiento, así que las partidas de estructuración fueron las que definieron esta programación. Con el estimado de concreto a utilizar obtenido, se determinó que la capacidad productiva de una sola planta mezcladora era suficiente para todo el tramo elevado, aun en la etapa crítica de colados continuos, cuando se llegó a tener una demanda de 75 m^3 por hora

7.2.1.4 Egresos

Este subprograma depende de manera directa de la estructuración de todos los demás subprogramas, ya que de la asignación de recursos que se haga y del programa de materiales generado se obtiene la cantidad de egresos que se tendrá. El programa de egresos normalmente

se divide en meses, ya que entran en juego algunos otros factores como el financiamiento y la reinversión en caso de alteraciones al programa original.

El programa de egresos se conoce también como "Proforma", y nos permite conocer en cualquier momento la situación de la obra en cuanto a lo que realmente se ha erogado, para compararlo con el avance real y determinar si el beneficio es el esperado, o si se ha incurrido en sobrecostos. El apego a este programa de egresos garantiza cierta estabilidad y rentabilidad, ya que se mantiene un desarrollo adecuado de las actividades. Por el contrario, cuando es superado por el costo directo, se corre el riesgo de no obtener la utilidad proyectada

7.2.1.5 Estimaciones

El subprograma de estimaciones tiene como fin establecer los denominados períodos de estimación en los que se habrán de presentar a cobro, los trabajos ejecutados. Aquí entran en juego de manera directa los conceptos del catálogo de precios unitarios de acuerdo con el plan de contratación, por ello se maneja a un nivel más específico a través de los programas particulares

Desde un inicio, se estableció que el desfaseamiento entre la ejecución real de los trabajos y el cobro de los mismos sería de dos semanas, para que, con esta diferencia de tiempo, se pudiera llevar a cabo de manera regular la elaboración, conciliación y presentación de generadores. Conforme a lo anterior, los subprogramas de estimaciones se desfilaron dos semanas con respecto a los programas particulares de ejecución, sin ninguna consideración adicional.

7.3 Apego a los programas iniciales

Es muy importante que en todo momento, alguna de las personas que participaron de lleno en la elaboración de los programas esté en la obra, ya que conoce todas las consideraciones que se hicieron durante la etapa de programación, y puede ser de gran ayuda en un momento de toma de decisiones, en el que no se deben pasar por alto detalles que quizá sólo esta persona conozca

La elaboración del programa general de obra y de los subprogramas derivados de éste, no contempló todas las situaciones adversas que se han comentado, y es por ello que no hubo un verdadero apego a ellos. Sin embargo, esto no quiere decir que la obra no se haya desarrollado dentro de un marco adecuado de programación; de hecho, la reprogramación de los trabajos permitió hacer un análisis continuo de lo ejecutado, para poder prever los avances futuros conforme a los rendimientos observados antes de las reprogramaciones, tratando de determinar las posibilidades de recuperación del tiempo perdido. Hubo actividades en las que el apego al programa inicial se mantuvo durante la ejecución de las mismas, pero solamente cuando no se presentaron interferencias o trabajos fuera de proyecto.

El factor de mayor relevancia de la revisión de los programas es poder tomar medidas, en caso de que se requiera, antes de que un atraso nos ocasione una mala calificación de los mismos por parte de la supervisión o por parte del cliente.

7.4 Reprogramación

Los responsables de la planeación, las variables involucradas, las condiciones adversas que generan atrasos, la interrelación con la supervisión y el cliente, así como la toma de decisiones para la asignación de recursos previo análisis de los programas, son algunos de los puntos que entran en juego para desarrollar un programa exitoso. El desfase entre lo planeado y lo real atiende a factores diversos tanto imponderables como susceptibles de prevenir, pero una vez generado el atraso no queda más que identificar las causas y tomar medidas inmediatas para que éste impacte lo menos posible.

7.4.1 Causas

Conforme se va ejecutando un proyecto, puede suceder que algunas actividades tengan una duración distinta a la que se estimó originalmente. Un suministro de material puede tomar un mayor tiempo que el programado, o pueden existir condiciones fuera de nuestro alcance que alteren las expectativas de avance.

Un ejemplo claro de esto es el tramo elevado de la línea B, donde elementos como la temperatura, la lluvia, el clima en general y la gran cantidad de interferencias, son variables que no se pueden controlar y que definitivamente inciden en las actividades de construcción, al repercutir de manera directa en los programas de obra.

Para evitar la reprogramación, hubiera sido bueno considerar actividades aisladas o independientes, para realizarlas en el momento que se pudiera, sin programarlas; es decir, que no ocuparan barras en los programas. Esto con el fin de aprovechar la poca ventaja que se tuvo durante el desarrollo de la obra con respecto a los programas, con lo cual se hubiera obtenido doble provecho del adelanto con que se contaba, aun cuando fue parcial, es decir, sólo en algunas partidas. Cabe mencionar que estas actividades debían ser sencillas y de poca duración.

7.4.2 Ajustes

De acuerdo con el avance que se tenga, y a las exigencias del cliente, el planificador puede considerar conveniente modificar las duraciones estimadas de las actividades que todavía no se han iniciado. Desde luego que estas modificaciones impactan los resultados finales pronosticados, y es por eso que se deben incrementar los recursos para cumplir con el programa, o

reprogramar previo acuerdo con el cliente y la supervisión, haciendo constar las causas del atraso no imputable a la constructora, y sin exigir una variación de los recursos existentes.

Con base en la revisión de los programas, y en caso de que existan atrasos, se procede a tomar medidas de recuperación de tiempo. Lo más común es que el jefe de obra detecte estas anomalías antes de la calificación, para que en el momento de que la supervisión le haga ver que se encuentra fuera de programa, él ya tenga alguna acción en mente para proponer.

Existen obras donde los ajustes son de mayor relevancia y de más fondo; es decir, que involucran medidas más drásticas. Cuando esto ocurre es necesario hacer un análisis causal, pues es casi seguro que existan irregularidades sistemáticas en el proceso, las cuales ocasionan los atrasos.

Es importante recalcar la relevancia que tiene la toma de decisiones en la asignación de recursos ante un atraso en programa, sobre todo por la responsabilidad del jefe de obra de sopesar todos los factores que intervienen en los procesos a su cargo; pues dada la dificultad de incrementar rendimientos, el desvío de recursos de todo tipo es la alternativa más viable, siempre que se sepa manejar como tal, y no como sistema de trabajo.

En otras ocasiones, se incrementa la fuerza de trabajo mediante contrataciones para finalizar trabajos pendientes que requieren terminarse de inmediato para que no representen un atraso. Hay varias consideraciones que hay que hacer para una medida de este tipo, sobre todo en lo que se refiere a condiciones de trabajo y seguridad. En el aspecto económico, se deben analizar beneficios y costo, pues no se trata solamente de contratar personal, sino que es necesario ver qué tanto pueden dar de avance, y si esto es congruente con el costo que los salarios van a representar. Estas son las cuestiones que hay que cuidar para mantener la *rentabilidad de una obra*.

CAPÍTULO 8 “ Aseguramiento de Calidad en la Obra “

Los principios de operación deben ser una extensión de los principios de planeación, ya que mientras éstos se refieren a la formulación de cursos de acción y políticas generales de trabajo, los principios de operación se relacionan de manera directa con la aplicación de los procedimientos, de tal manera que la obra sea rentable a todo lo largo de la etapa de ejecución.

El principio fundamental de la calidad en la ingeniería civil se basa en la concordancia entre lo diseñado y lo construido, o entre lo planeado y lo ejecutado, lo cual se logra a través de la instauración de un sistema de trabajo que obedezca a las necesidades del proyecto, y que cumpla con estándares establecidos dependiendo de cada una de las tareas a desarrollar. La coordinación representa la fuerza cohesiva que une las distintas funciones de planeación, organización, puesta en marcha y operación de un proyecto; lo que le da sincronía al esfuerzo particular desde una perspectiva de tiempo y prioridades.

La división del trabajo tiene por objeto llegar a producir más y mejor con el mismo esfuerzo, fomentando la especialización para una mejora global continua. La autoridad permite exigir el cumplimiento de las responsabilidades asignadas, para poder desarrollar el trabajo en una atmósfera de respeto. La disciplina da la certeza de que realmente se tiene un sistema de trabajo adecuado, ordenado y autocontrolable.

Así pues, puede decirse que la organización de una obra es el medio a través del cual se interrelacionan los individuos, los grupos, las instalaciones, el equipo, el conocimiento y la técnica, mientras que el sistema de calidad es la estructura formal de tareas, autoridad, responsabilidad y procedimientos, que determina y garantiza que esta interrelación se dé bajo un esquema de cumplimiento, para obtener los resultados deseados.

Para lograr el programa de aseguramiento de calidad que la Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo del Distrito Federal requirió durante la ejecución del tramo elevado, fue necesario que la contratista aplicara su sistema de aseguramiento de calidad. Este sistema está basado en la norma internacional ISO 9000, y da cabal cumplimiento a las normas mexicanas de la serie NMX-CC, por lo que puede ser auditado tanto interna como externamente por los organismos competentes, para verificar el apego a los estándares de calidad más reconocidos.

La norma ISO 9000 exige el cumplimiento de 20 requerimientos básicos en la empresa, aplicables a todos los proyectos en los que ésta se vea involucrada, para poder certificar su calidad:

1. Responsabilidad de la Dirección
2. Sistema de calidad
3. Revisión del contrato

4. Control del diseño
5. Control de documentación y datos
6. Control de adquisiciones
7. Control de producto proporcionado por el cliente
8. Identificación y rastreabilidad del producto
9. Control de procesos
10. Inspección y prueba
11. Control de la inspección, medición y equipo de prueba
12. Estado de inspección y prueba
13. Control de producto no conforme
14. Acciones preventivas y correctivas
15. Manejo, almacenamiento, empaque, conservación y entrega
16. Control de registros de calidad
17. Auditorías de calidad internas
18. Capacitación
19. Servicio
20. Técnicas estadísticas

Estos requerimientos van acompañados de un compromiso colectivo a todos los niveles, de tal forma que el cumplimiento de las responsabilidades se ve respaldado por la facultad, factor determinante para asegurar el éxito de este tipo de sistemas. En el caso de la contratista asignada para desarrollar los trabajos de construcción de este proyecto, y de acuerdo a lo que la norma establece, el compromiso se manifiesta a través de lo siguiente:

Política de calidad

Empresa comprometida con la calidad, tanto en proyecto como en construcción, con el fin de ser la mejor opción para sus clientes; situación que obliga a establecer un sistema apegado a lo indicado en la norma ISO-9001

Visión

Mantener el liderazgo nacional con competitividad internacional y actitud innovadora.

Misión

Ejecutar proyectos y obras con calidad y rentabilidad, que satisfagan por completo los requerimientos del cliente dentro de un ambiente de trabajo óptimo.

El cliente, en este caso la DGCOSTC, queda cubierto cuando la aplicación de un sistema de calidad con los lineamientos descritos se lleva a cabo de manera correcta, ya que la satisfacción del cliente es el fundamento y fin último del sistema. En este capítulo se hace referencia al sistema de calidad de la contratista, cuyos procedimientos fueron verificados por el cliente a través de su supervisión. También se deja ver la exigencia en cuanto al cumplimiento de las especificaciones propias del proyecto, consideradas ya por el sistema como parte integral del mismo.

8.1 Manual de calidad

El manual de calidad es el documento mediante el cual se establecen los procesos generales que habrán de seguirse para cualquier actividad, con el fin de que éstas queden documentadas por completo y de que haya manera de referenciarlas en todo momento como parte de una estructura adecuada de funcionamiento. En este proyecto, las especificaciones (también de carácter general) se tomaron en cuenta como parte del manual de calidad, o por lo menos en la misma medida, ya que rigieron hasta que fue generada y distribuida una novación debidamente autorizada, con base en el análisis de la factibilidad de aplicación o algunas otras causas de carácter más técnico.

Así pues, la contratista estableció el manual de calidad para esta obra, en él se describen los elementos necesarios que permitieron cerrar los procesos desarrollados, al brindar al cliente la confianza deseada. Atendiendo al aspecto económico, en el presupuesto de la obra se tomaron en cuenta los costos de la calidad, es decir, todos aquellos recursos que es necesario invertir para poder dar sustento a un sistema de este tipo, desde la etapa de planeación hasta la ejecución y entrega de los trabajos.

La planeación de la calidad por parte de la contratista, y a través del manual, consideró los intereses específicos del cliente (DGCOSTC), tomando en cuenta sus propuestas e inconformidades, recurriendo al personal asignado por esta dependencia, para atender las diferencias que se presentaran durante la ejecución de la obra, con el objeto de comprobar resultados y conciliar intereses.

En muchas ocasiones fue necesario actualizar las estrategias de administración de la calidad, ya que algunas de las técnicas de inspección y sus controles asociados tuvieron cierta divergencia con respecto a las condiciones bajo las cuales se dio el desarrollo de las actividades. Estas adecuaciones ayudaron a que el registro general fuera fidedigno, es decir, que no reflejara incumplimientos que por falta de adecuación al uso falseaban la información real, lo que de ninguna manera se alteró, fueron los criterios de aceptación y rechazo, ya que la compatibilidad entre el diseño, el procedimiento constructivo, las instalaciones, las actividades de inspección y la documentación aplicable, determinaron que la supervisión por parte del cliente desempeñara sus funciones sin demeritar la confiabilidad del sistema.

8.2 Manual de procedimientos

El establecimiento de normas exactas permite delegar autoridad y responsabilidades, porque el supervisor y el supervisado tienen un concepto claro de sus deberes, lo que permite que el sistema realmente funcione. Al formular los reglamentos y procedimientos se debe tener cuidado de darles la flexibilidad y versatilidad requeridas para irlos modificando de acuerdo con los cambios que se vayan suscitando por las causas descritas en el inciso anterior, pues si se detallan al extremo, se elimina la iniciativa del personal a todos los niveles, y con ello, se pierden los benéficos efectos de las aportaciones como parte del proceso de mejora continua, que es tan importante.

La función primordial del manual es definir el procedimiento a seguir en cada una de las actividades, de hecho, el equipo interdisciplinario encargado de desarrollar este documento debe contar con personal de todas las especialidades que contempla el proyecto, además de todas las partes involucradas. Esto se debe a que para cada procedimiento es necesario contar con la asesoría de quien supervisa, pues si existe un acuerdo previo de lo que habrá de verificarse en campo, se tendrán menos posibilidades de que se presenten inconformidades posteriores.

El carácter de los procedimientos aplicados fue muy variado: los que se refieren a la ejecución de la obra, a la administración de los recursos, a los lineamientos de trabajo, a la interrelación entre las partes y al proceso constructivo, entre otros; algunos de los principales para el caso específico del tramo elevado fueron:

- Procedimientos del Sistema de Aseguramiento de Calidad
- Procedimientos técnicos constructivos (incluidas las especificaciones)
- Procedimientos particulares de trabajo
- Procedimientos administrativos
- Procedimientos financieros
- Procedimientos de Seguridad e Higiene
- Procedimientos para el control de la información

Así como todos los procedimientos se referenciaron al manual de calidad, tal y como lo indica la norma, cada uno de los documentos utilizados para registrar las actividades desarrolladas, también se referenció al procedimiento correspondiente.

8.3 Documentación asociada a los procesos

La construcción como fin, genera diversas actividades de apoyo que van desde el suministro de materiales y equipos, hasta la supervisión, el control de la calidad, y el subcontratamiento especializado. Dependiendo de la especialidad, la magnitud y la escala a que se

ejerja cualquiera de estas actividades es la organización que se diseña, ya que una misma actividad se puede desarrollar de manera personal, con algún tipo de apoyo o asesoría adicional, o bien con una empresa respaldada por una gran cantidad de recursos, tanto humanos como materiales, agrupados en áreas de apoyo específicas. Cuando se trabaja bajo este último esquema, resulta indispensable que la interrelación entre los grupos de trabajo se oriente a los objetivos específicos del proyecto, para lo cual se establecen adecuados canales de comunicación entre las partes. Una buena organización requiere de archivos adecuados, y la norma es sumamente clara en este aspecto; la insuficiencia de archivos resulta costosa, pero el exceso de ellos puede serlo aún más.

Un sistema no es un fin en sí mismo, sino un medio para obtener un fin. Los sistemas pueden contribuir a la eficiencia, pero el exceso de sistematización se convierte en un estorbo para el ágil desarrollo de la obra; un sistema es un poderoso instrumento de control, y aunque implica orden, no necesariamente implica economía, pues se puede ser eminentemente sistemático y desperdiciar tiempo y dinero. La aplicación del método, el cumplimiento de los estándares, la evaluación de los procedimientos, y el compromiso colectivo se deben ponderar de manera equilibrada para explotar al máximo las capacidades del sistema; y para lograr esto, es necesario que todo quede documentado en formatos de distribución controlada.

Durante todo el desarrollo de la obra, la contratista contó con un área especializada de control de documentos, encargada de recibir, archivar, y distribuir todos los documentos necesarios para la ejecución del proyecto, conforme al procedimiento establecido para ello

Algunos de los documentos manejados por esta área fueron.

- El contrato y el alcance del mismo
- El manual de aseguramiento de calidad
- Los procedimientos de control de calidad
- Los planos del proyecto
- Las especificaciones del proyecto
- Los procedimientos de construcción
- Los formatos de verificación y demás controles
- Los registros de calidad

El personal encargado de este control llevó a cabo las siguientes actividades.

- Identificación y autorización de documentos
- Recepción, clasificación y resguardo
- Distribución y consulta
- Actualización, cambios o modificaciones

- Redistribución
- Informe de la redistribución

Uno de los aspectos en los que el cliente se mostró más interesado fue el hecho de que la contratista estableciera y mantuviera actualizados los procedimientos para el control de los documentos y controles relacionados con las especificaciones del proyecto, sobre todo por la dinámica que hubo entre la ingeniería proyectada y las condiciones reales, lo que obligó a que se emitieran continuamente modificaciones a los procedimientos iniciales

Todo cambio o modificación a un documento fue revisado previamente por quien lo aprobó originalmente, a excepción de los casos en los que el manual marcaba otra cosa. Además, en la revisión se especificaron claramente las causas que dieron origen a los cambios, así como los criterios tomados para cada una de las adecuaciones correspondientes.

Todo documento novado se hizo del conocimiento del personal responsable de los diferentes puestos de trabajo, mediante un sistema de entrega y recepción firmada; por otra parte, los documentos vencidos (versiones anteriores) se retiraron de circulación también a todos los niveles, para evitar su consulta y prevenir confusiones.

8.3.1 Responsables

La existencia de un organigrama de la obra perfectamente estructurado no garantiza la utilidad del mismo, si no se establecen de manera explícita las líneas o niveles de mando. Cuando la autoridad no está claramente definida, varias personas se sienten responsables de lo mismo, o hay asuntos de los cuales nadie se hace responsable. Esto ocasiona que los problemas que se presentan en un determinado nivel distraigan la atención personal de los responsables del nivel inmediato superior innecesariamente, pues alguien debe ser el encargado último de cada nivel. Un cuadro de mando perfectamente definido evita conflictos y permite a los tomadores de decisiones desarrollar su actividad sin tener que lidiar con una responsabilidad mal delegada. Es por ello que el facultamiento para la toma de decisiones se estableció desde la elaboración del manual de calidad de la obra.

El contratista, como responsable directo de la aplicación de los procedimientos, asignó a cada uno de los puestos de trabajo, personal altamente calificado en el campo de la construcción, y presentó a la DGCOSTC un programa de capacitación continua en todo lo referente al sistema de calidad que se ha mencionado.

De manera interna, el gerente de aseguramiento de calidad fue el encargado de establecer los campos de acción de cada uno de los técnicos encargados, para poder garantizar que los procedimientos serían seguidos con el debido apego, fomentando la conciencia en el personal a través de mecanismos que contemplaron incentivos, responsabilidades y respeto al trabajo

8.3.2 Cédulas de aseguramiento

Los registros de calidad constituyen las evidencias que hacen constar el cumplimiento o no conformidad de los requisitos de cada componente o concepto de obra del proyecto. La función de éstos es definir cada una de las partes o componentes del proyecto, de modo que pueda haber un seguimiento controlado de las actividades, mediante el cual se pueda conocer en cualquier momento, el estado de avance logrado en el cumplimiento de la calidad exigida. El original de los registros de calidad siempre estuvo en poder del área de control de documentos, y a disposición del personal de la obra para su consulta.

Un detalle muy importante con el que deben cumplir las cédulas de aseguramiento y los registros de calidad en general, es la referencia al manual de procedimientos y al procedimiento específico que les corresponde, indicando el capítulo o inciso en el que se establece su utilización. En el caso del sistema de calidad instituido para la obra del tramo elevado de la Línea B, los formatos de revisión para cada una de las actividades se basaron en el procedimiento o especificación correspondiente.

8.4 Laboratorios certificados (presencia permanente)

Todas las pruebas requeridas en el proyecto, para demostrar que las actividades desarrolladas y los materiales utilizados cumplían satisfactoriamente, se ejecutaron conforme al plan de pruebas del manual, en donde se indicaban los dispositivos de medición a usar, y los procedimientos a desarrollar para obtener los resultados más confiables.

Estos resultados se documentaron a través de informes elaborados por la supervisión, en donde se hacían notar tanto los puntos satisfactorios como las desviaciones presentadas, lo que ayudó a manejar estadísticamente el porcentaje de acierto de todos los procesos.

La contratista subcontrató el servicio de laboratorio de inspección y prueba de materiales, porque así lo consideraron conveniente el gerente de aseguramiento de calidad y la supervisión. Este laboratorio cumplió con todas las exigencias del cliente en cuanto a sistema de trabajo y acreditación por parte del SINALP, de hecho, durante los primeros meses de la obra, la supervisión realizó una pequeña auditoría de calidad al laboratorio mencionado, y obtuvo resultados satisfactorios. La presencia permanente del laboratorio en el sitio de la obra fue determinante, ya que, dado el ritmo de trabajo establecido, fue necesario verificar la calidad de los materiales de manera continua durante los dos turnos de labores.

El control de calidad de los materiales abarca una gran cantidad de actividades, de las cuales mencionaremos algunas de las que se inspeccionaron en esta obra:

Muestreo de materiales para terracerías y pavimentos

Desde la inspección y autorización de los bancos de materiales, hasta las características de colocación en el sitio de la obra de acuerdo a las especificaciones de proyecto.

Calas para determinar pesos volumétricos

Verificación de las características físicas de los materiales por excavar o por utilizar para relleno de cepas en actividades posteriores a la estructuración o tendido de líneas de conducción, como parte de la obra inducida.

Pesos volumétricos máximos de humedad óptima

Determinación de las características específicas de un material de relleno para poder ser utilizado, es decir, atributos requeridos por los procedimientos y la especificación correspondiente.

Muestreo de concreto fresco

Pruebas aplicables al concreto, previa utilización del mismo en un colado, lo cual representó un requisito indispensable para poder autorizar la colocación de este material en cualquiera de los elementos estructurales.

Elaboración de especímenes de concreto

Determinación de las características mecánicas del concreto en el tiempo mediante el ensayo destructivo de especímenes fabricados exprofeso con la misma mezcla utilizada en los elementos fabricados

Muestreo de cemento

Verificación de las características físico-químicas del material cementante de la mezcla, para determinar si cumplía con los parámetros establecidos por la norma

Muestreo de agua para mezclas

Análisis de las características del agua utilizada para la elaboración del concreto y los morteros, en lo que se refiere a grado de dureza, y cantidad de materia orgánica presente.

Muestreo de acero de refuerzo y acero estructural

Determinación de las características físico-químicas de las varillas de acero de refuerzo y perfiles estructurales utilizados, así como su estado ante los efectos de intemperización.

Muestreo de uniones soldadas de acero

Ensayos no destructivos sobre la soldadura aplicada tanto en bulbos de unión para el acero de refuerzo, como en filetes o empates de la estructura metálica; estas pruebas se reducen a inspecciones radiográficas y de líquidos penetrantes.

Muestreo de mezclas asfálticas

Registro de las condiciones de tendido del asfalto utilizado para la construcción o restitución de vialidades, la temperatura, pureza y espesor de capas fueron los parámetros de mayor importancia.

Muestreo en general de materiales

Todos los materiales que se utilizaron en menor medida fueron probados por el laboratorio de acuerdo a las características marcadas por la especificación correspondiente, aun cuando se contaba con el certificado de calidad por parte del fabricante.

A continuación se describen de manera más específica algunos de los muestreos e inspecciones que se llevaron a cabo con más frecuencia; así como los parámetros principales y los registros elaborados en cada caso

8.4.1 Acero

El plan de pruebas consideró que el límite elástico, la resistencia a la ruptura, la geometría, el área transversal, la fatiga al doblé y el peso unitario debían ser muestreados conforme a la siguiente tabla de frecuencias para poder establecer un control en la utilización de este material. Sin embargo, la inspección ocular al momento del habilitado se respetó e implicó una inspección específica, aunque el fundamento era únicamente la apreciación del supervisor.

TIPO DE ACERO	FRECUENCIA ESPECÍFICA DE MUESTREO
Acero de refuerzo (varilla corrugada)	1 / 10 Toneladas
Acero de presfuerzo (torones y cables)	1 / 1000 Kilogramos
Acero estructural (perfiles y placa)	1 / 50 Toneladas
Alambre y malla	1 / 7000 metros cuadrados
Láminas (todos los calibres)	1 / 50 Toneladas

En la *Figura 8.1* se presenta un ejemplo de inspección radiográfica para acero de refuerzo con toda la descripción de la muestra analizada, así como el criterio de evaluación y el procedimiento de referencia. Este tipo de registro fue el que se manejó por parte del laboratorio responsable, y los resultados del mismo se plasmaron en las cédulas de aseguramiento propias del sistema de calidad, anexando copia de los primeros para dar respaldo a la autorización de actividades.



ESTE REPORTE NO PUEDE SER REPARACIÓN TOTAL NI PARCIALMENTE, SIN LA AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DEL LABORATORIO.

ESTE REPORTE SOLO AFECTARÁ AL CLIENTE QUÉ LO SOLICITÓ (S) A PERSONA PERSSA

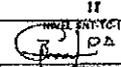
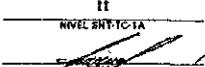
INFORME DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

DATOS GENERALES			
REPORTE NO. <u>27</u>	FOLIO: <u>0117</u>	FECHA: <u>18 / MARZO / 97</u>	HOJA <u>1</u> DE <u>2</u>
CLIENTE: <u>ICA CONSTRUCCION MEXICO</u>	UM: <u>24</u>		
OBRA/TALLER: <u>L-S-M TRAMO BOCAHUA GRAN CUAL ARQTO 35</u>	No. DE PELICULAS: <u>4 DE 70X200MM</u>		
UBICACIÓN DE OBRA/TALLER: <u>MEXICO, D.F.</u>			

DATOS DEL ESPECIMEN	
OBJETOS A RADIOGRAFIAR: <u>ACERO DE REFUERZO</u>	
TIPO DE MATERIAL: <u>ACERO AL CARBON</u>	<input checked="" type="checkbox"/> SOLDADURA <input type="checkbox"/> METAL BASE <input type="checkbox"/> OTRO
PROCESO DE SOLDADURA: <u>SMAW</u>	TIPO DE UNIÓN: <u>SOLDADAS A TOPE</u>
ACABADO SUPERFICIAL: <input checked="" type="checkbox"/> BURDO <input type="checkbox"/> ESMERILLADO <input type="checkbox"/> MAQUINADO <input type="checkbox"/> OTRO:	

TECNICA UTILIZADA	
CODIGO PARA PROCEDIMIENTO: <u>ANS D1.1 SECC. 6</u>	CODIGO PARA EVALUACION: <u>ANS D1.4 SECC. 4</u>
FUENTE: <u>IRIDIO-192</u> ACTIVIDAD O MAX VOLTAJE: <u>50 Ci</u>	PUNTO FOCAL: <u>.107"</u> D.F.P.: <u>10"</u>
TIPO DE PELICULA: <u>II</u> PANTALLAS: <u>DE PLOMO</u>	TECNICA DE PELICULA: <u>SIMPLE</u>
TECNICA DE EXPOSICION: <u>UNA PARED</u>	
EXPOSICIONES: <input type="checkbox"/> 100% <input type="checkbox"/> 56% <input type="checkbox"/> 33% <input checked="" type="checkbox"/> MUESTREO	

NOMENCLATURA DE DISCONTINUIDADES SEGUN CODIGO		
ASME - API 850 R ROTURA R1 INCHESTRUCCION INCOMPLETA R2 JONEN INCOMPLETA R3 INDICACION ALARGADA R4 INDICACION REDONDA Y PORD AWS R ROTURA RA DISCONTINUIDAD ALARGADA DR DISCONTINUIDAD REDONDA Y PORD	API 1104 - ANSI ASME B31. (X) - AWWA-C-209 R ROTURA R1 ROTURA LONGITUDINAL EN SOLDADURA R2 ROTURA TRANSVERSAL EN SOLDADURA R3 ROTURA EN METAL BASE S SOCABADO EN METAL BASE SI SOCABADO INTERIOR SS SOCABADO ENTRE CONDICIONES DE SOLDADURA CR CORONA BAJA CR1 CONCAVIDAD EN LA RAIZ CR2 Doble LINEA DE ESCORIA DT DESALINEAMIENTO DE LOS TUBOS	IRREGULARIDADES OBSERVADAS EN LA RADIOGRAFIA FF FALTA DE FUEGON FP FALTA DE PENETRACION IS INCLUSION DE ESCORIA L LINEA DE ESCORIA P POROSIDAD PA POROSIDAD AGLOMERADA PC POROSIDAD CLASIFICADA PL POROSIDAD ALVEADA PT POND TUNEL PE PENETRACION EXCESIVA Q QUENADURA RE RELLENO EXTRAÑO SR SUDO. IRREGULAR SP DESALINEAMIENTO DE LAS PLACAS CS DESALINEAMIENTO DE LA SOLDADURA F FENDECO BR BIFURCAR O OTROS

TECNICO	CONTROL DE CALIDAD	CLIENTE
INTERPRETADO Y EVALUADO POR <u>TEC. REFUGIO HERNANDEZ JANTES.</u> NOMBRE	REINTERPRETADO Y REEVALUADO POR <u>SR. ANTONIO HERNANDEZ SANTANA</u> NOMBRE	RECIBIÓ DE CONFORMIDAD REPORTE Y PELICULAS
NIVEL INTY-CIA <u>II</u>	NIVEL INTY-CIA <u>II</u>	FECHA
 FIRMA	 FIRMA	 FIRMA

PERITOS EN RADIOGRAFIA Y SOLDADURA, S.A. DE C.V.

Ser. Ancho de Circunvalación No. 202 Col. Guadalupe San Antonio Itzapalapa C.P. 09070 México, D.F.
Tel: 870-7745- 681-9873 681-9883 685-1132



SINALP
MEXICO-1994

Figura 8.1

La tabla de frecuencias de muestreo utilizada para el concreto se presenta a continuación:

CONCRETO	FRECUENCIA ESPECÍFICA DE MUESTREO
Cemento (conforme a la norma)	1 / mes
Agua (conforme a la norma)	1 / mes
Agregados (composición y tamaño)	1 / 1500 metros cúbicos
Sanidad y desgaste	1 / 9000 metros cúbicos
Resistencia a compresión	1 / 40 metros cúbicos
Peso volumétrico (en planta)	1 / 40 metros cúbicos
Revenimiento	1 / unidad transportadora
Módulo de elasticidad	1 / 400 metros cúbicos

8.4.3 Rellenos

Estos muestreos comprenden todos los estudios de calidad realizados a los materiales utilizados para rellenos en cepas, excavaciones, terracerías (sub-bases y bases) y plataformas; las características que principalmente analizó el laboratorio fueron: granulometría, límite líquido, límite plástico, peso volumétrico (suelto, compactado y en banco), valor relativo de soporte, absorción, expansión, contracción lineal, equivalente de arena, valor cementante y coeficiente de abundamiento.

En la tabla siguiente se pueden observar de una manera muy general, las frecuencias de muestreo seguidas de acuerdo al plan de pruebas contemplado en el manual de calidad para este tipo de materiales

CARACTERÍSTICAS DE:	FRECUENCIA ESPECÍFICA DE MUESTREO
Material para relleno en excavaciones	1 / 4000 metros cúbicos
Material para terracerías (base y sub-base)	1 / 2000 metros cúbicos
Compactaciones en zanjas	1 / 20 metros de zanja
Compactaciones en vialidades	1 / 200 metros cúbicos

En la *Figura 8.3* se muestra un formato del control de terracerías llevado en la obra, y en la *Figura 8.4*, un informe de laboratorio en el que se muestra un croquis de localización del relleno inspeccionado; por lo general, estos dos documentos siempre se manejaron de manera conjunta, para poder cumplir con lo que estipulaba el manual de procedimientos en lo referente al control de documentos.

8.4.4 Otros

Todos los materiales fueron analizados con base en los mismos principios, pero de acuerdo a los procedimientos específicos establecidos para cada uno de ellos. El gerente de aseguramiento de calidad, por parte de la contratista, revisó continuamente el apego del laboratorio a las necesidades de la obra tanto en disposición de equipo de inspección como en seguimiento y registro de datos. De esta forma, fue posible que el cliente y la contratista redujeran las frecuencias de muestreo en algunos rubros, basándose en criterios estadísticos de cumplimiento; es decir, cuando el porcentaje de las inspecciones reflejó que no se habían presentado desviaciones en algún tipo de muestreo, se acordó que se podían reducir los costos generados por el laboratorio por este concepto.

La tabla que se presenta a continuación muestra algunos otros materiales inspeccionados por el laboratorio durante el desarrollo de la obra, así como sus frecuencias de muestreo y características principales.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS	FRECUENCIA DE MUESTREO
Soldadura	-Procedimiento de aplicación	Continua
	-Calificación de soldadores	1 / soldador
	-Resistencia a la tensión	2 %
	-Prosidad (Líquidos penetrantes)	0.5 %
	-Discontinuidad (Inspección radiográfica y ultrasonido)	7 %
Tubería	-Porosidad (concreto)	0.5 % de cada lote
	-Pruebas mecánicas (acero)	
Pintura	-Espesor de película	Variable dependiendo del grado de intemperización
	-Adherencia	
Impermeabilizante	-Permeabilidad o sellado	1 / Lote
	-Durabilidad	
	-Flexibilidad	
Tabique	-Resistencia a la compresión	1 / 14,000 pzas
	-Absorción	
Resinas epóxicas	-Resistencia a la compresión	1 / Pedido
	-Resistencia a la tensión	
	-Expansión	
Neopreno	-Dureza Shore	Variable dependiendo del uso que se le vaya a dar
	-Tensión	

Las herramientas, instrumentos y equipos de medición utilizados por el laboratorio para la ejecución de las pruebas, se revisaron y calibraron periódicamente, según lo establecido por el SINALP. Estas revisiones generaron un registro que se presentó al cliente para demostrar el cumplimiento de lo establecido por la norma en lo que se refiere a precisión de los equipos empleados para la inspección, medición y prueba.

Estas son las características generales del sistema de aseguramiento de calidad instituido en la obra del Metropolitano Línea B, que, como ya se mencionó, fue sumamente dinámico y obedeció siempre a una conciliación de intereses entre la contratista y el cliente.

La calidad se cumplió a todos los niveles, desde el diseño de los procedimientos constructivos hasta la ejecución real de los trabajos y la inspección de los mismos, manejando siempre registros confiables y ordenados. Es muy importante comentar que la calidad en el servicio representa un factor determinante en el buen desempeño de las funciones de todo el personal involucrado; y el hecho de que en este proyecto la relación entre las partes se haya dado en un marco de total profesionalismo, quizá se deba a la experiencia que tiene la contratista en el desarrollo de proyectos de esta naturaleza, pues conoce perfectamente las necesidades y exigencias de su cliente.

CAPÍTULO 9

“ Sistema de Información (Proyecto – Supervisión – Construcción)”

Los responsables de cada una de las áreas involucradas en un proyecto de esta naturaleza deben tener muy claro que las diversas partes de un proceso tienen que trabajar en conjunto, basados en la convivencia y el respeto a los conocimientos de los demás, bajo un esquema de autoridad en el que la asesoría juega un papel fundamental

Las condiciones adversas que generan fricciones, la relación entre la supervisión, la contratista y el cliente, los procedimientos con alto grado de dificultad y el trabajo interdisciplinario, determinan una fórmula en la que se conjugan los conocimientos técnicos y la experiencia para obtener los mejores resultados.

Para la obra del tramo elevado del Metropolitano Línea B, se estableció un sistema de trabajo que tuvo como fin definir el flujo de la información en todo momento, para evitar que se deslindaran responsabilidades en lo que se refiere a la aplicación de los procedimientos autorizados. A grandes rasgos, la secuencia atendió a lo que se describe en los dos párrafos siguientes, a reserva de que más adelante se describan más detalladamente, las relaciones que se dieron entre las partes

El orden a seguir definió a la proyectista como la generadora de toda la información del proyecto; una vez que se tuvieron planos o especificaciones listas para emisión, se pasaron al cliente para su revisión y autorización, en los casos en los que hubo observaciones, se hicieron las correcciones pertinentes y se transmitieron a la supervisión documentos autorizados únicamente, acompañados de un oficio de entrega y de la relación correspondiente.

Cuando la supervisión tuvo en su poder documentos oficiales, llevó a cabo una *interpretación de todo aquello que le fue entregado* y elaboró paquetes para la contratista, los cuales le hizo llegar mediante el protocolo que se explica en el inciso 9.1, y al momento de esta entrega se consideraron válidos todos los programas y subprogramas asociados a las actividades descritas en estos documentos; esto quiere decir que cuando la entrega de información se realizó con cierto atraso, las fechas de inicio de los programas se ajustaron para no perjudicar la calificación de los mismos; estas situaciones se plasmaron en la bitácora de obra y se respaldaron con los comunicados de entrega.

Una vez que la contratista recibió la información, llevó a cabo la asignación de recursos necesaria para la ejecución de los trabajos y se encargó de darles seguimiento conforme a los programas autorizados.

Hubo ocasiones en las que, o se detectaron incongruencias, o se presentaron situaciones que no estaban consideradas en los planos y procedimientos, por lo tanto, se tuvo que informar a la supervisión para que se solicitaran procedimientos específicos a la proyectista, o para que se

definieran cursos de acción alternativos, previa conciliación de la forma de pago de los trabajos extraordinarios que esto generaría.

El siguiente mapa conceptual (*Figura 9 1*) muestra de manera clara cómo se concibió la relación entre las partes, para fines operativos y prácticos durante el desarrollo del proyecto.

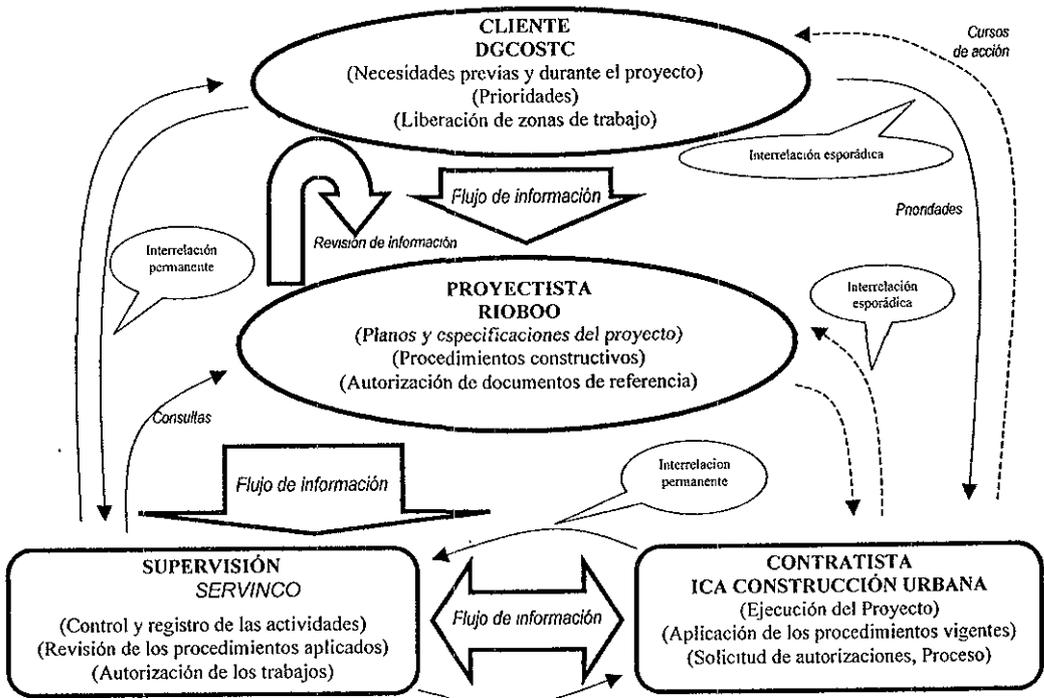


Figura 9.1

Este sistema se apoyó en los organigramas de cada una de las partes, para poder funcionar adecuadamente, pues toda la información manejada requirió una autorización previa según los procedimientos establecidos

La eficiencia de las operaciones en cualquier proyecto depende de esta interrelación, es por ello que deben estar perfectamente definidos los flujos de información, las líneas de autoridad y los cursos de acción alternativos

Los organigramas de carácter técnico de cada una de las partes se muestran a continuación (*Figura 9 2*) con el fin de dejar claro a qué nivel se trató cada una de las situaciones descritas hasta este momento.

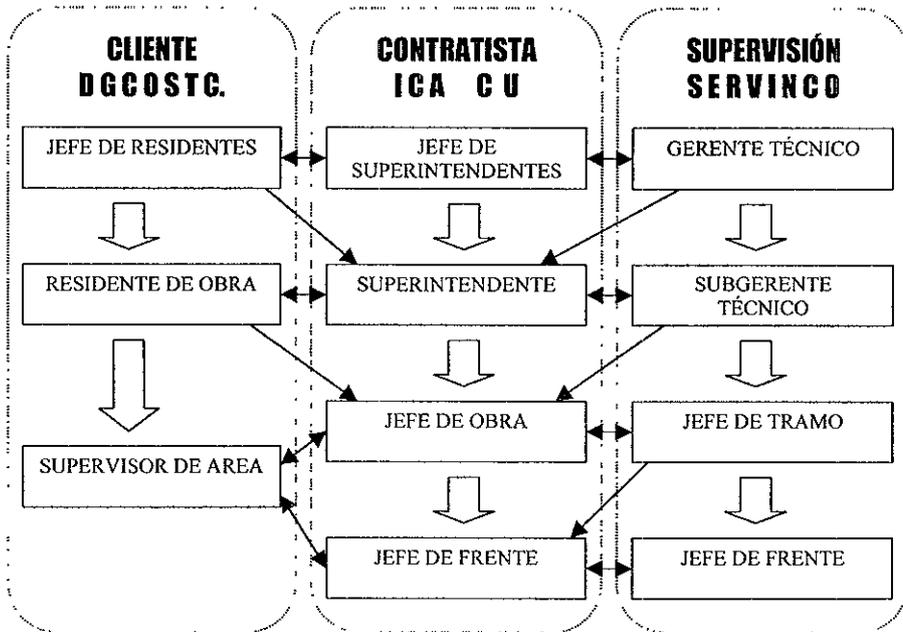


Figura 9.2

Toda alteración a esta estructura de trabajo reflejó falta de adocrtrinamiento en los procedimientos, o falta de disciplina, ya que el no dar el curso adecuado a la búsqueda de soluciones ocasiona que los problemas se reciclen.

Cuando el responsable de un cierto nivel no fue capaz o no estuvo en condiciones de resolver alguna situación, fue él y sólo él quien debió acudir al nivel siguiente con todos los antecedentes necesarios para solicitar la asesoría o autorización requerida, ya que en algunas ocasiones los problemas no fueron sólo de carácter técnico

9.1 Sistema de entrega de planos ejecutivos

Este sistema de manejo de la información fue de gran importancia para el adecuado desarrollo de la obra y para la correcta ejecución de los trabajos, pues de ello dependió que se contara en campo con todos los datos necesarios de manera oportuna.

Los documentos manejados bajo este esquema pueden ser agrupados de la siguiente manera:

Planos ejecutivos

Todos aquellos planos elaborados por la proyectista, autorizados por el cliente y revisados por la supervisión, la cual los entregó a la contratista (en maduro) para su ejecución.

Especificaciones

Concentrados de información acerca de las características específicas de los materiales, equipos y procedimientos a utilizar, así como de las inspecciones y pruebas asociadas para certificar el cumplimiento de lo requerido por el proyecto

Procedimientos

Ordenación y jerarquización de las actividades a desarrollar en una cierta etapa del proyecto o en un área dada de trabajo, de acuerdo con criterios técnicos, es decir, se trata de cursos de acción propuestos que pueden ser adecuados con base en criterios de aplicación durante la ejecución.

Planos revisados o modificados

Planos ejecutivos con algunos cambios o modificaciones, resultado de la evaluación de los mismos, o de condiciones reales que no permiten ejecutar los trabajos conforme a la propuesta del plano base

Boletines de solución

Dibujos, croquis o bosquejos emitidos por la proyectista (muchas veces en campo), para dar salida a trabajos urgentes interferidos por alguna incongruencia del proyecto u otra situación de carácter circunstancial (las autorizaciones pertinentes se describen en el inciso 9.4).

El principio fundamental de esta transferencia de información fue, por un lado, que se tuvieran actualizados los archivos de cada una de las partes y se supiera a quién recurrir antes de solicitar modificaciones por las causas expuestas, y por otro, que los programas no se vieran afectados por la suspensión temporal de trabajos para los cuales el proyecto presentaba anomalías que impedían continuar con él.

Debido a lo anterior, la remisión de la información entregada a todos los niveles fue fundamental para determinar la vigencia de los documentos, pues las fechas de entrega por parte de la proyectista al cliente, por ejemplo, llegaron a diferir con respecto a las fechas de entrega a la contratista por parte de la supervisión, incluso en quince días, a causa del proceso de autorización y revisión al que la información fue sometida

Este desfase ocasionó que tuvieran que pagarse a la contratista trabajos ya ejecutados antes de la recepción oficial de modificaciones

Una vez elaborados los documentos (planos, especificaciones, etc.), el sistema obedeció a la siguiente cronología:

- a Entrega por parte de la proyectista al cliente para autorización.
- b Revisión por parte del cliente.
- c Autorización por parte del cliente (Rechazo y devolución a la proyectista para corrección a)
- d. Entrega por parte del cliente a la proyectista.
- e Entrega por parte de la proyectista a la supervisión.
- f *Interpretación y entrega por parte de la supervisión a la contratista.*
- g Recepción por parte de la contratista mediante el oficio y la relación correspondiente, en la que se indicó el plano, su versión o modificación, fecha de autorización y fecha de entrega.
- h Distribución interna por parte de la contratista, a través de la estructura establecida por el departamento de control de documentos (a partir de este momento, la responsabilidad de aplicar lo contenido en la información vigente fue de la contratista).

Si bien es cierto que este sistema permitió que no se trabajara bajo ninguna circunstancia de incertidumbre en cuanto a la validez de la información, también lo es el hecho de que ésta no fue la mejor manera de manejar la documentación del proyecto, pues como ya se comentó, los trabajos ejecutados antes de la recepción de alguna modificación de manera oficial representaron una pérdida para el cliente

En algunas ocasiones, las notas asentadas en la bitácora de obra fueron una buena opción para evitar que se presentaran estas situaciones, pero no siempre fue posible notificar un posible cambio.

9.2 Sistema de Supervisión (actividades principales)

Dado que el presente trabajo maneja un enfoque predominantemente funcional, resulta fundamental analizar la organización de la obra desde el punto de vista de quienes la integran, quienes la dirigen, quienes la diseñan y quienes la supervisan. Con base en las premisas de la estructura organizacional establecida para la ejecución de la obra del tramo elevado, y de acuerdo con las necesidades iniciales, la supervisión fue la encargada de dar seguimiento a la ejecución del

proyecto en todas sus etapas, con estricto apego a los planos y procedimientos emitidos por la proyectista. Adicionalmente, se encargó de mantener una dinámica de trabajo en la que no fue necesario solicitar un procedimiento cada vez que se tuvieron complicaciones en el desarrollo de las actividades, pues estuvo facultada para resolver situaciones y definir alternativas de acción relacionadas con aspectos de tipo operativo, con el apoyo de personal especializado en las diversas áreas del proyecto, mismo que le fue solicitado por el cliente para la asignación de esta función.

La revisión de los procedimientos, la autorización de los trabajos, la elaboración de los informes, la calificación de los programas, la generación de estrategias y la asesoría continua, fueron las actividades principales de la supervisión en esta obra. La relación tan estrecha que hubo con la contratista permitió un mejor control del proyecto, pues el personal de ambas partes trabajó con los mismos datos en todo momento para evitar los abismos de información que se generan muchas veces entre lo programado y lo real cuando no existe la interrelación adecuada.

Las juntas semanales que se realizaron durante todo el periodo de ejecución resultaron determinantes para poder lograr esto, pues siempre estuvo presente un representante del cliente y uno de la proyectista con el fin de dar salida a todas las dudas que se generaron semana a semana y que fueron reportadas a la supervisión por parte de la contratista.

Los intereses del cliente constituyeron la misión principal de la supervisión, y gracias a la experiencia que tienen las partes trabajando en proyectos de este tipo de manera conjunta, se facilitó mucho el sistema de trabajo y se alcanzaron los objetivos con base en la capacidad técnica desplegada y en el compromiso colectivo.

9.3 Interrelación Obra – Proyecto

Cuando se trabaja de manera interdisciplinaria, es necesario establecer un esquema integral, flexible y ordenado, para poder avanzar hacia las metas trazadas, máxime en procesos de construcción en los que se requiere de una secuencia estructurada de criterios de planeación, programación y operatividad. Si se siguen estos preceptos se logra ser siempre la mejor opción para el cliente, sea cual sea el entorno reinante, pues la logística se define invariablemente de manera específica para cada caso de aplicación, pero con base en los fundamentos básicos de toma de decisiones y optimización de recursos.

El hecho de que se hayan realizado reuniones semanales con la proyectista ayudó notablemente a que las discrepancias que se presentaron entre lo proyectado y las condiciones reales se resolvieran en el menor lapso posible. Esta disposición fue instituida a petición del cliente para evitar que la ingeniería desarrollada como parte de la solución elevada tuviera variaciones de fondo que pudieran alterar el funcionamiento adecuado de la línea. Cabe mencionar que este tipo de medidas de control obedece a la gran trayectoria que tiene el cliente en el desarrollo de infraestructura urbana, pues conoce perfectamente las consecuencias de no tomar

en cuenta que un proyecto es dinámico a todos los niveles, y que una modificación al mismo no tiene injerencia determinante en los objetivos globales.

La disposición de la proyectista de tomar propuestas de solución por parte de los ingenieros de la contratista y de la supervisión como base para la elaboración de las soluciones definitivas, ayudó a que todos pudieran de alguna manera contribuir con la experiencia y capacidad técnica de su personal para agilizar los trabajos. Esta apertura definió un esquema muy particular de trabajo que se mantuvo vigente desde el inicio de la obra, y que además resultó interesante por la versatilidad y flexibilidad que ofreció para agilizar la ejecución del proyecto, sin perder de vista la ingeniería básica

9.4 Soluciones boletinadas ante situaciones fuera de proyecto

Como ya se mencionó, la supervisión tuvo la capacidad y la facultad para dar solución a ciertas situaciones, ya fuera por interferencias o por no estar contempladas en el proyecto, siempre y cuando éstas no repercutieran directamente en alteraciones de fondo al funcionamiento de las estructuras, o en cambios al diseño de la línea en general. Cuando consideró que una situación no estuvo técnicamente a su alcance, o que la participación de la proyectista era indispensable para avalar actividades críticas, solicitó que se generara un boletín de solución especializado, autorizado por el cliente

La génesis de estos boletines fue siempre alguna de las denominadas juntas de proyecto en las que, tanto la contratista como la supervisión, exponían al cliente y a la proyectista los problemas que se habían presentado en una determinada actividad. Planteado el problema, el representante del cliente solicitaba a la supervisión que explicara el criterio que había considerado para no asignar un curso de acción inmediato; y con base en esto, la proyectista realizó un análisis de los datos proporcionados del plano y las especificaciones asociadas, para poder determinar si era necesario llevar esto a los responsables de las áreas específicas de diseño, o si él mismo podía dar una solución inmediata para continuar con los trabajos.

En los casos en que la solución pudo ser determinada inmediatamente, se elaboró en la misma junta un croquis detallado con las siguientes características:

- Se elaboró en un formato especial de la proyectista expedito para estas cuestiones.
- Se llevó a cabo a mano por el ingeniero representante.
- Se registró el plano, la especificación y el procedimiento de referencia.
- Se señaló el criterio tomado para la solución.
- Se hizo mención de las características de los materiales a utilizar no considerados inicialmente

La autorización por parte del cliente fue fundamental para efectos de validar la información, pues de acuerdo con el sistema instituido para este proyecto, el cobro de los trabajos ejecutados sólo podía ser referido a documentos oficiales.

En realidad, fueron muchas las adecuaciones que se hicieron al proyecto durante el desarrollo de los trabajos, y por consiguiente, se incurrió en una gran cantidad de sobrecostos que afectaron directamente al cliente. Ésta puede ser una de las mayores deficiencias de la proyectista en cuanto a la planeación; sin embargo, el trabajar en un entorno urbano conlleva este tipo de riesgos, pues algunas de las interferencias resultan impredecibles.

Las partes involucradas establecieron un sistema adecuado de trabajo que respondió a las necesidades del proyecto en todo momento, y que si bien no fue óptimo, por lo menos atendió a las capacidades técnicas requeridas, con algún demérito en los tiempos de respuesta

CAPÍTULO 10 “ Conclusiones “

Después de haber sido descrito el procedimiento constructivo del tramo elevado del Metropolitano Línea B, se puede determinar su efectividad con base en los resultados obtenidos. Esta evaluación puede hacerse a dos niveles: a nivel global, considerando los alcances del proyecto en general, o a nivel particular, tomando en cuenta cada una de las partidas principales y sus procedimientos asociados.

Aunque una evaluación global de los resultados es representativa a nivel general, muchas veces puede reflejar una situación que no es real, desvirtuando las partes del proceso que se hayan llevado a cabo dentro de los lineamientos establecidos de calidad, costo y tiempo.

Partiendo de esta premisa, es necesario hacer un balance de todos aquellos eventos que de alguna u otra manera alteraron el curso de lo que se estableció inicialmente durante la etapa de planeación de este proyecto. Estas alteraciones generaron desviaciones al esquema de trabajo, tanto en cuestión de tiempo como en cuestión de adecuación al uso; aunque finalmente éstas también se transformaron en tiempo perdido. Fue así como se cayó en la reprogramación de algunas actividades, e incluso de partidas completas, dada la naturaleza secuencial de un proyecto de este tipo.

Si se logran identificar las actividades que mayor incidencia tuvieron en el atraso global, es posible que se detecte una causa común; sin embargo, cuando las causas son diversas, es necesario agruparlas y situarlas en el tiempo para poder establecer si es que existió algún periodo crítico en el que los atrasos o las dificultades se dieron de manera concatenada, afectando además varias partidas.

Los principios de administración de la Ingeniería señalan que esta clase de trastornos repercuten de manera directa en un sobre costo, y cuando no han sido documentadas todas las adecuaciones al proyecto, los cambios de alcance, el aumento de volúmenes y los tiempos de espera por interferencias no contempladas, se cae en una dispersión de responsabilidades; situación en la cual resulta imposible definir la imputabilidad de los atrasos, y que además ocasiona que no sea posible la correcta asignación de las pérdidas generadas por estas irregularidades.

Durante la construcción del tramo elevado del Metropolitano Línea B, se presentaron algunos factores que alteraron el curso normal de las actividades de acuerdo con el programa inicial, lo que ocasionó atrasos difíciles de evaluar, por no haber sido registradas las causas de los mismos de manera oportuna a través de la bitácora de obra o algún otro documento de carácter oficial. Aun cuando las partes (cliente, contratista y supervisión) conciliaron ciertos atrasos, el apego a la realidad durante la calificación de programas fue muy escaso, y los criterios unilaterales inhibieron la objetividad requerida para el desarrollo de estos controles.

A quien más afecta esta situación es a la contratista, pues como responsable de dar cumplimiento a los programas de obra, está sujeta a sanciones por el incumplimiento en las fechas

de entrega. Por esta razón, debe llevar un control estricto de todos los eventos adversos que se den durante el desarrollo de la obra, con el fin de registrar oportunamente y de manera oficial, aquellos factores que alteren lo que se programó inicialmente. Si esto se lleva a cabo correctamente, se fincan responsabilidades en cada caso, lo que ayuda a que se tengan registros fidedignos y a que la contratista no se vea afectada al momento de la calificación de programas por situaciones de las que no es responsable.

En la mayoría de los casos, los atrasos se dieron por interferencias, cambios en la ingeniería, retraso de libranzas y trabajos adicionales. En la siguiente tabla se puede ver la manera, el nivel y la extensión en que cada uno de estos factores afectó al programa general de obra

ATRASOS POR:	PARTIDAS AFECTADAS	OBSERVACIONES
Interferencias	<ul style="list-style-type: none"> • Preliminares • Obra Inducida • Excavación 	Estos atrasos se dieron continuamente, por lo que fue difícil identificarlos y registrarlos de manera adecuada. Al irse acumulando diariamente, generaban diferencias considerables entre lo programado y lo real al final de los periodos
Cambios en la Ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuración • Construcción de estaciones • Preparaciones (paso de vía) 	La naturaleza de estos atrasos atendió a un criterio de aplicación de los procedimientos o al requerimiento de un rediseño detectado en campo. Resultó más fácil establecer la imputabilidad de los mismos, pues siempre se solicitó la intervención de los proyectistas a través de una nota de bitácora
Retraso de libranzas	<ul style="list-style-type: none"> • Obra Inducida • Montaje de traveses 	Cuando se requirió la autorización de alguna dependencia para maniobras, por existir instalaciones municipales aledañas, se llegaron a generar atrasos por esperar un horario adecuado para el desarrollo de las mismas.
Actividades fuera de proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Preliminares • Obra Inducida • Excavación • Construcción de estaciones 	Todas aquellas actividades extraordinarias que fueron ejecutadas por la contratista, previa solicitud del cliente, nunca fueron programadas. Al reasignar recursos de las actividades programadas, los atrasos se generaron de inmediato, pues los rendimientos se redujeron y los recursos se disgregaron. Estos fueron de los de mayor injerencia

Como ya se comentó, es necesario hacer un desglose del procedimiento constructivo para poder identificar sus aspectos positivos y negativos. El planteamiento de una secuencia de trabajo adecuada ayudó a que los frentes de trabajo actuaran de manera coordinada, para poder desarrollar la asignación parcial de trabajos que optimizó la utilización de la mano de obra. En la medida de lo posible, el costo directo se mantuvo siempre monitoreado con respecto al proforma, pero la reasignación de recursos ante actividades fuera de proyecto obligó a que se llevaran a cabo contrataciones de urgencia que alteraron el equilibrio deseado entre lo ejecutado y lo programado. Con la intención de elaborar reclamos posteriores, la contratista decidió separar estos costos de todos aquellos que eran propios del proyecto, sin embargo, dada la gran cantidad de

este tipo de trabajos, cada vez fue más difícil hacerlo y se terminó por manejar una sola cuenta de egresos. Es por ello que cuando se presentaron los primeros reclamos, uno de los problemas era el soporte de los mismos, pues era claro que se habían llevado a cabo los trabajos, pero diferían algunas de las consideraciones hechas para la integración de los precios unitarios.

Mientras el cliente pretendía pagar los trabajos a la contratista, con los precios unitarios de concurso, ésta exigía una revisión de los mismos por tratarse de actividades no comprendidas en el alcance. Toda vez que se presentaron estimaciones relativas a este tipo de actividades, tuvieron lugar negociaciones similares a las que se les dio salida de distinta manera, cuando lo adecuado hubiera sido establecer un criterio de estimación uniforme, ya que de esta forma se hubiera logrado agilizar el cobro de los trabajos mediante un enfoque práctico de fluidez.

La logística desarrollada por parte de la contratista para lidiar con el entorno reinante en la zona oriente de la ciudad es uno de los aspectos de mayor relevancia, pues la experiencia de esta empresa en la construcción de infraestructura fue la que permitió que aun cuando surgieron impedimentos de todo tipo, siempre se supo qué medidas adoptar para dar salida a las situaciones adversas, sin embargo, si esta iniciativa y enfoque proactivo se hubieran visto respaldados por un pago ágil de los trabajos, los logros quizá hubieran sido mayores y los atrasos menores.

En cuanto a lo operativo, el sistema de trabajo instituido para la estructuración fue el adecuado tanto para intertramos como para estaciones, pues las cuadrillas mantuvieron rendimientos constantes y los tiempos de espera se minimizaron.

El sistema de fabricación de traveses a pie de montaje es un claro ejemplo de buena planeación, y refleja un adoctrinamiento en los sistemas de calidad a todos los niveles.

Una vez definidas las fortalezas y debilidades detectadas en cada una de las partes principales del proceso, se puede emitir un juicio global acerca de la eficiencia del mismo, con las debidas reservas de acuerdo también a lo expuesto anteriormente:

La obra civil del tramo elevado del Metropolitano Línea B se llevó a cabo conforme a un procedimiento constructivo especialmente diseñado para las condiciones que prevalecen en la zona oriente de la Ciudad de México, y bajo un enfoque práctico de administración y facultamiento a diferentes niveles, utilizando los recursos adecuados para los trabajos contemplados en el alcance del concurso. Este procedimiento contó con el respaldo de un sistema de calidad perfectamente documentado en el que a través de la conciliación entre las partes, se dio validez a cada una de las actividades desarrolladas.

El procedimiento se vio alterado en cierta medida por el cambio de alcance que se dio durante la etapa de construcción, cuyos registros fueron deficientes, esto ocasionó que no se cumpliera con el programa inicial, y que la imputabilidad de los atrasos no se especificara para reprogramar de manera adecuada. La secuencia de los trabajos establecida por este procedimiento, permitió llevar esta fase del proyecto a buen término a pesar de la gran cantidad de interferencias y problemáticas urbanas que se presentaron y que hubo que librar.

10.1 Beneficios de la construcción de la línea.

Tal y como se ha descrito en el primer capítulo de este trabajo, el proyecto del Metropolitano línea B fue desarrollado con base en la necesidad de comunicar la zona nororiente y el centro histórico de la ciudad de México, dada la gran afluencia de gente que se da diariamente entre estos dos puntos, ya sea por cuestiones de trabajo, estudio u otros. Tomando esto como punto de partida, y atendiendo al carácter operativo del sistema de transporte colectivo que prevalece hasta el día de hoy, se pueden establecer los beneficios de la siguiente manera, independientemente de que algunos de ellos varían en cuanto al plazo de cumplimiento

- Representa el medio de transporte masivo con mayor demanda esperada entre el Estado de México y el área metropolitana
- Capta una importante demanda en punta de la estación Ciudad Azteca, ayudando a descargar la entrada de vehículos por la supercarretera a Pachuca, y reduciendo la saturación de la línea 3 en la estación Indios Verdes.
- Establece conexión directa con la Red de Ferrocarriles Nacionales
- Establece transbordo con 5 líneas existentes, incrementando hasta 31 las posibilidades de interconexión con las 175 estaciones del actual sistema
- Fortalece la distribución del pasaje al llegar al centro histórico, pues aquí es donde mayor número de viajes se generan hacia toda la red
- Mejora sustancialmente la velocidad y condiciones de desplazamiento a lo largo de la vialidad coincidente, al generar una vialidad rápida y sin cruces a nivel
- Con la agilización de la vialidad coincidente, fortalece el ordenamiento del transporte en minibuses y autobuses en la zona de influencia a todo lo largo de la línea.
- Como todo proyecto de obra pública, garantiza empleos durante cada una de las etapas que involucra (planeación, construcción, puesta en servicio y operación)
- Ayuda a que se ahorren 40,000 horas-hombre diarias por concepto de tiempos de traslado
- Con la disminución del parque vehicular, liberará una superficie de 40,340 m² de vialidad coincidente, lo que equivale en promedio, a tener un carril libre en una longitud de 10 km.
- Beneficia de manera directa a 600,000 habitantes de las colonias que conforman la zona de influencia, al permitirles hacer uso del Sistema de Metro, sin utilizar otro tipo de transporte para integrarse a la red, lo que significa un ahorro
- Contribuye a que se reduzca la emisión de contaminantes a la atmósfera hasta en un 4% de lo que actualmente es generado en el área metropolitana.

Siendo éstos los beneficios principales, es necesario hacer mención de la importancia que tiene la puesta en servicio de la línea en el menor tiempo posible, ya que de congelarse la asignación de recursos para las partidas de acabados en estaciones, pruebas estáticas, pruebas

dinámicas y lo que falta de tendido de vías, se vería frenada la capacidad de la línea en un corto plazo, y con ello el beneficio global proyectado

Otro aspecto que vale la pena comentar es que aun cuando el tramo elevado de la línea B no se encuentra en funcionamiento todavía, la vialidad coincidente ha sido liberada ya, pues las actividades pendientes de ejecutar se están desarrollando sobre el viaducto y no interfieren con el paso de los vehículos.

10.2 Innovaciones tecnológicas en cuanto a procedimiento constructivo

El procedimiento constructivo desarrollado para la construcción del tramo elevado del Metropolitano Línea B presentó características muy peculiares tanto a nivel de planeación como a nivel de ejecución. Gracias al enfoque operativo que imperó en todo momento, se pudieron librar las interferencias de la mejor manera, cumpliendo con los imponderables dentro de un esquema de establecimiento de prioridades. La secuencia de construcción de los cajones de cimentación fue lo que determinó el avance con mayor incidencia dentro del Programa General de Obra, sin embargo, el montaje de las traveses representó también un aspecto de suma importancia, dado que con éste se consideraba que las actividades en un cierto tramo estaban concluidas, con algunas salvedades.

El sistema de "fabricación de traveses a pie de montaje" resultó ser una solución verdaderamente innovadora que permitió reducir tiempos muertos del personal de campo, liberar zonas de manera secuencial sobre la vialidad coincidente y avanzar en los trabajos de manera más ágil. La funcionalidad y economía del sistema trajeron consigo recuperaciones con respecto a los programas de obra, lo que ayudó a compensar algunos de los atrasos que se tenían en partidas previas, por las causas expuestas en el capítulo siete

10.3 Consideraciones finales

El hecho de licitar la obra pública tiene su origen en la búsqueda de la mejor opción para llevar a cabo la construcción de un proyecto de infraestructura. Las propuestas desarrolladas ante una convocatoria de este tipo son muy variadas y dependen de los requerimientos y del enfoque operativo de cada uno de los concursantes, pues con base en ello se define el alcance de los trabajos y la asignación programada de recursos.

Cuando el concursante ha definido ya el alcance de los trabajos necesarios, elabora y desarrolla su propuesta económica a través del análisis de precios unitarios, para el cual se deben tomar en cuenta los volúmenes a ejecutar, las condiciones de trabajo, los rendimientos esperados, los costos tanto de materiales como de mano de obra, el equipo a utilizar y el tiempo estimado de ejecución. Adicionalmente, se debe integrar el total de los costos indirectos que se generan de

manera continua a través del periodo en el que se pretende realizar la obra, así como la utilidad esperada.

Para que la evaluación de las propuestas se lleve a cabo correctamente, es necesario establecer una jerarquización de los criterios para poder estructurar tablas comparativas a nivel tanto técnico como económico, en donde se puedan ver las ventajas y desventajas de las propuestas de cada uno de los concursantes, ponderando aspectos favorables y desfavorables que permitan definir una o varias opciones como las más viables.

Es sumamente importante que el criterio económico no sea el que rijan de manera prioritaria, pues en muchas ocasiones, aunque no siempre, el concursante que presenta la propuesta más económica en cuanto a precio, olvidó hacer algunas consideraciones. Dado que esto no es una regla, se requiere ir más a fondo después de haber hecho la primera selección, para ello se debe contactar a los concursantes y hacerles ver cuál es la situación, solicitándoles que revisen alguna sección en especial de su propuesta, en donde se requieran ajustes para poder homogeneizar los parámetros de comparación

Este tipo de negociaciones se dan a partir de este momento y hasta el momento de la firma del contrato con el ganador de la licitación, y si se llevan a cabo de manera adecuada pueden resultar en un beneficio colectivo, ya que por un lado, el cliente garantiza que todos los puntos que se contemplan como parte del proyecto han sido tomados en cuenta dentro del presupuesto del contratista; y por otro lado, éste último define las responsabilidades que se encuentran contenidas en su cotización, lo que evita que durante el desarrollo de la obra surjan conceptos que no tienen patrón de cobro.

El enfoque ingenieril de un proyecto debe ser siempre interdisciplinario, de tal forma que contemple una relación continua entre las diversas áreas de trabajo, dado que la parte técnica da respaldo a todo proceso de toma de decisiones, mientras la experiencia genera todos los posibles cursos de acción en un proyecto.

Todo sistema de trabajo es perfectible, y es por ello que al final de los proyectos es necesario revisar las denominadas lecciones aprendidas, pues es gracias a este tipo de análisis que una empresa logra alcanzar mejores resultados de un proyecto a otro. Éste es el principio y fundamento del proceso de mejora continua en el que todas las empresas deben estar inmersos para poder ser competitivos.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI COMMITTEE. *Recommended practice for measuring, mixing, transporting and placing concrete*, 1ª ed., México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1986.
- ACOSTA Flores, José Jesús. *Teoría de decisiones en el sector público y en la empresa privada*, México, Ed. R S I, 1975.
- AGUILAR OROZCO, Jorge (ed.). *Normas de proyecto / asesores y colaboradores*, México, Dirección General de Obras Públicas / Departamento del Distrito Federal, 1975.
- ANTILL, James M. *Método de la ruta crítica y su aplicación a la construcción*, México, Ed. Limusa, 1967.
- BACA URBINA, Gabriel. *Evaluación de proyectos: análisis y administración del riesgo*, 2ª ed., México, Ed. McGraw-Hill, 1994.
- CHIAS BECERRIL, Luis. *El transporte metropolitano hoy*, México, UNAM, 1995.
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. *Manual de diseño de obras civiles*, México, 1983.
- CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*, 4ª ed., México, Limusa-Noriega editores, 1995.
- CROOME, D.J. *et al. Calidad y costo en la construcción*, Barcelona, Ed. Gili, 1980.
- DAVIDIAN, Zaven. *Pilotes y cimentaciones sobre pilotes: distintos tipos, capacidad portante, estabilidad, ejemplos y datos numéricos*, 2ª ed., Barcelona, Editores técnicos asociados, 1977.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO. *Especificaciones generales para la construcción del Metropolitano Línea B*, México, Departamento del Distrito Federal, 1995.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO. *Especificaciones para la construcción del Metropolitano Línea B, tramo elevado*, México, Departamento del Distrito Federal, 1995.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO. *Metropolitano Línea B, Buenavista-Ciudad Azteca. Primera etapa*, México, Departamento del Distrito Federal, 1997.
- ESPINOZA ULLOA, Jorge. *El Metro: una solución al problema de transporte urbano*, México, Representaciones y servicios de ingeniería, 1975.
- GERWICK, Ben Clifford. *Construcción de estructuras de concreto presforzado*, México, Ed. Limusa, 1978.
- HALÁSZ, Robert Von. *La construcción con grandes elementos prefabricados: cálculo y diseño*, Bilbao, Ed. Urmo, 1982.

- ICA CONSTRUCCIÓN URBANA, DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD. *Manual de calidad para la construcción del Metropolitano Línea B*, México, 1996.
- ICA CONSTRUCCIÓN URBANA, DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD. *Manual de procedimientos para la construcción del Metropolitano Línea B, tramo elevado*, México, 1996.
- JOHANNSON, Johannes. *Diseño y cálculo de estructuras pretensadas*, Barcelona, Ed. Marcombo, 1975.
- JUÁREZ BADILLO, Eulalio *et al.* *Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos*, Tomo I, 2ª ed., México, Ed. Limusa, 1974.
- LEAL IGA, Jorge. *Programación y control de obra: simplificada*, México, JC impresos y publicidad, 1991.
- MEDRANO LARA, Víctor Hugo *et al.* *Concretos de Alto Comportamiento. Tesis de licenciatura*, México, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1997.
- MERRIT, Frederick S. *Manual del Ingeniero Civil*, Volúmenes I y II, 2ª ed., México, Ed. McGraw-Hill, 1989.
- NAVARRO, Bernardo. *Metro, metrópoli, México*, México, UNAM / UAM-UX / Instituto de investigaciones económicas, 1989.
- OLIVERA BUSTAMANTE, Fernando. *Estructuración de vías terrestres*, 2ª ed., México, Ed. CECSA, 1996.
- PERLOFF, Harvey S. *La calidad del medio ambiente urbano*, Barcelona, Ed. Oikos-Tau, 1973.
- SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS. *Especificaciones generales de construcción. Parte segunda*, 1ª ed., México, Talleres gráficos de la nación, 1976.
- SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS DEL DISTRITO FEDERAL. *Programa maestro de ferrocarriles urbanos y suburbanos del área metropolitana*, 3ª revisión, México, Departamento del Distrito Federal, 1996.
- SOTELO ÁVILA, Gilberto. *Hidráulica general. Fundamentos*, Volumen I, México, Ed. Limusa, 1987.
- TAYLOR, Bernard *et al.* *Planeación estratégica exitosa*, Bogotá, Ed. Legis, 1991.
- VARELA A., Alonso *et al.* *Costos de construcción pesada y edificación*, Tomo 5, 28ª ed., México, Ed. Compuedita, 1995.