



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIÓN**

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL CRUCE Y CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 12 CON  
PERIFÉRICO ORIENTE**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**PRESENTA:**  
**OSCAR FRANCISCO VEGA ZAMORANO**

**TUTOR PRINCIPAL**  
**MARCO TULIO MENDOZA ROSAS, FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MÉXICO, D. F. DICIEMBRE 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## Índice

<b>Resumen</b> .....	3
<b>Abstract</b> .....	4
<b>Capítulo 1. Antecedentes</b> .....	5
1.1 Origen del metro de la Ciudad de México .....	5
1.2. Etapas de construcción de la red del sistema del transporte colectivo metro .....	8
1.3. Plan maestro del metro de la Ciudad de México .....	12
1.3.1. Evolución del plan maestro del metro .....	13
1.4. Situación actual del metro de la Ciudad de México .....	20
<b>Capítulo 2. Descripción de la Línea 12 del metro</b> .....	24
2.1. Introducción Proyecto Línea 12 .....	24
2.2. Trazo Línea 12 .....	28
2.3. Forma de contratación del proyecto Línea 12 .....	31
2.4. Beneficios de la construcción de la Línea 12 .....	33
<b>Capítulo 3. Descripción del proyecto cruce Periférico</b> .....	35
3.1. Subestructura .....	37
3.1.1. Cimentación .....	37
3.1.2. Columnas y cabezales metálicos .....	43
3.2. Superestructura .....	46
3.2.1. Trabes metálicas .....	46
3.2.2. Viaducto .....	49
<b>Capítulo 4. Procedimiento constructivo</b> .....	60
4.1. Subestructura .....	60
4.1.1. Hincado de pilotes de fricción .....	60
4.1.2. Excavación con Muro Berlín .....	66
4.1.3. Construcción del cajón de cimentación .....	71
4.1.4. Montaje de columnas metálicas y cabezales metálicos .....	78
4.2. Superestructura .....	87
4.2.1. Montaje de trabes metálicas .....	87

4.2.2. Construcción de paso de vía .....	100
<b>Conclusión</b> .....	114
<b>Referencias</b> .....	115

## Resumen

La Línea 12 del Metro de la Ciudad de México es la obra más grande de construcción en todo el país. Este proyecto fue concebido con el objetivo de dar solución mediante un servicio de transporte masivo de pasajeros, al problema de transporte de la zona oriente de la Ciudad de México. Es resultado de la interacción de múltiples disciplinas encaminadas a cumplir con normas y estándares de calidad tanto en el desarrollo del diseño como de la construcción. Asimismo se llevan a cabo diversos estudios, enfocados a resolver diversos aspectos relacionados con el transporte público de pasajeros, como son: topográficos, geotécnicos, obras inducidas, impacto ambiental, movilidad, en materia de arqueología y en materia de afectaciones.

La Línea 12 del Metro de la Ciudad de México está conformada por 20 estaciones, de las cuales 2 son de tipo terminal, 4 son estaciones de correspondencia y 15 corresponden a estaciones de paso. Su construcción se realizó mediante cuatro procedimientos constructivos: sección superficial, sección elevada, sección en cajón subterráneo y sección túnel con Escudo de Presión de Tierras.

El tipo de cimentación que se adopta en cada zona es diferente, pues es necesaria su adecuación a las características del subsuelo, a las magnitudes del hundimiento regional y a las sollicitaciones sísmicas; por lo que en las transiciones de una zona de obra se toman medidas en las cimentaciones para promover cambios graduales del comportamiento por hundimiento regional, y además, se toman medidas en el diseño de la superestructura para que ésta sea capaz, por una parte de absorber deformaciones por asentamientos diferenciales y desplazamientos horizontales, y por otra, contar con dispositivos de ajuste de niveles tanto en cimentación como en superestructura, que permitan a través de un programa de mantenimiento realizar ajustes durante la vida útil de la línea.

El cruce de la línea 12 del Metro con Periférico Oriente se encuentra ubicado entre Avenida Tláhuac y Periférico Oriente, correspondiente a la Delegación Tláhuac. Un cruce de gran complejidad debido a la altura del cruce y a las características geotécnicas que presenta la zona, es decir, grandes depósitos de arcilla altamente compresible, altas deformaciones al aplicar cargas y hundimiento regional diferencial.

El cruce de la Línea 12 con Periférico Oriente, forma parte de un tramo en bocina en curva, es decir, en donde la zona de vía se ensancha y se separa. Considerado y diseñado así por proyecto por varios aspectos: complejidad del cruce por la altura, estética y costo (ya que si no se tendrían que haber utilizado columnas mucho más robustas y pesadas). Presenta las siguientes características: cimentación a base de cajones parcialmente compensados y pilotes de fricción; doble columna metálica de sección cuadrada conectadas a la cimentación mediante un sistema de anclas con rosca alargada; cabezales metálicos de sección rectangular con bancos de placa y apoyos de neopreno, traveses metálicos de sección IPR y tabletas prefabricadas.

## Abstract

Line 12 subway Mexico City is the largest construction site in the country. This project was conceived with the aim of providing a service solution by mass passenger transport, to the transport problem in the area east of Mexico City. It results from the interaction of multiple disciplines designed to comply with standards of quality in both design development and construction. Also carried out various studies, focused on solving various aspects of public passenger transport, including: topographic, geotechnical, induced works, environmental impact, mobility, archeological and affectations.

Line 12 subway Mexico City consists of 20 stations, of which two are terminal type, four are transfer stations and fifteen are way stations. It was built by four construction procedures: surface section, elevated section, underground box section and tunnel section with earth pressure shield.

The type of foundation that is take in each area is different, it is necessary that it meets the characteristics of the subsoil, the magnitudes of regional subsidence and seismic action; so that the transitions from one area of work is taken into foundations to promote gradual changes of regional subsidence behavior, and further measures are taken in the design of the superstructure so that is able, on the one hand to absorb deformation differential settlements and horizontal displacements, and the other, having adjustment devices as foundation levels in both superstructure, allowing through a maintenance schedule adjustments during the life of the line.

Crossing the Line 12 subway whit Periférico Oriente is located between Tláhuac Avenue and Periférico Oriente, involving the delegation Tláhuac. A cross of great complexity due the height of the crossing and the geotechnical characteristics presenting the area, ie, large deposits of highly compressible clay, high deformations by applying loads and differential regional subsidence.

Crossing the Line 12 with Periférico Oriente, is part of a horn section in curve, ie, where the area of road widens and separates. Considered and well designed per project for several aspects: crossing complexity height, aesthetics and cost (because if not they should have used more robust and heavy columns). It has the following features: partially offset drawers and friction piles, double columns square section steel connected to the foundation trough a system of elongated screw anchors; column head rectangular section steel with banks and neoprene supports, section steel girders IPR and prefabricated tablets.

## Capítulo 1. Antecedentes

### 1.1 Origen del metro de la Ciudad de México

El ingeniero Bernardo Quintana Arriola, fundador de la empresa mexicana Ingenieros Civiles y Asociados, SA de CV, hoy empresa ICA, SAB de CV, elaboró estudios que permitieron la creación de un anteproyecto, y posteriormente un proyecto, para la construcción de un sistema de transporte masivo en la Ciudad de México. La propuesta del proyecto se presentó en 1958 a Ernesto P. Uruchurtu, regente de la Ciudad de México de 1952 a 1996, quien la rechazó al considerarla económicamente costosa (Sedano, 2003).

Quintana presentó nuevamente su proyecto de transporte en el sexenio de Gustavo Díaz Ordaz, presidente de México de 1964 a 1970. De nueva cuenta el obstáculo resultó el costo elevado de la obra. Alex Berger, empresario francés, amigo de Quintana, fungió como mediador entre los gobiernos francés y mexicano para la obtención del crédito. Como resultado de la negociación el gobierno mexicano cubrió el costo de la obra civil, estudios de geotecnia, diseño de estaciones, entre otros, y el gobierno francés la obra electromecánica (Sedano, 2003). La obra tuvo un costo total de \$2,530 millones, de los cuales \$1,630 millones provinieron del crédito francés y \$900 millones por parte del Departamento del Distrito Federal (Bernardo Navarro, 1989).

Los principios fundamentales del Proyecto Metro, según la propia ICA, fueron los siguientes:

- Corresponder con las corrientes establecidas de mayores volúmenes de pasajeros y cubrir las zonas de mayor densidad demográfica.
- Dar servicio a las zonas más congestionadas, eliminando en gran parte los medios de transporte de superficie.
- Acabar los centros de actividades principales de la metrópoli.
- Ahorro del tiempo por medio de líneas lo más rectas posibles e interconexiones múltiples.
- Preservación del centro monumental e histórico de la capital.
- El trazo de las líneas no podría perjudicar o anular vías de transportación existentes.
- Evitar el ingreso de los autobuses suburbanos y foráneos al centro de la capital.
- Eliminar las vías de tranvías que penetraban a la zona céntrica, destinando las unidades de estas rutas a reforzar el servicio de las líneas que se conservan.
- Irrigar al máximo la zona central con la red de trenes rápidos, de manera que la mayor parte del público de dicha zona tuviera acceso a una estación del metro con corto recorrido a pie.

El 29 de Abril de 1967 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto presidencial que crea el Sistema de Transporte Colectivo, organismo público descentralizado, para construir, operar y explotar un tren rápido subterráneo como parte del transporte público del Distrito Federal.

El 4 de Septiembre de 1969 Gustavo Díaz Ordaz y Alfonso Corona del Rosal, regente del Distrito Federal de 1966 a 1970, inauguraron formalmente el servicio entre las estaciones Chapultepec y Zaragoza. Un tren construido por la compañía francesa Alstom, modelo MP-68.

En los años cincuenta se tuvo la idea de construir un Metro para la Ciudad de México, cuando la capital tenía 4 millones de habitantes y para el año 1964, la población se duplicó mientras la extensión de la ciudad pasó de 200 a 320 km<sup>2</sup> lo que provocó que la concentración de población en especial de la zona centro, fuera enorme para la capacidad de los servicios de transporte público. Era cuando los viejos tranvías entrecruzaban la ciudad, el tráfico comenzaba a incrementarse y el sistema de autobús, ya no era suficiente para cubrir todas las demandas de las personas que vivían fuera de la ciudad (Gutierrez, El Sistema de Transporte Colectivo Metro como una solución viable al problema del transporte en la Ciudad de México 1994-2006, 2008).

Ya se tenía la necesidad de un sistema que desahogara las principales avenidas y calles donde se concentraba el conflicto y diera movilidad a un mayor número de personas en un espacio más reducido, solucionando los problemas de vialidad y contaminación.

Del periodo de 1952 a 1967 se realizaron los proyectos para construir un metro para la Ciudad de México, pero las excavaciones en el centro de la ciudad presentarían un problema fundamental debido a que en el suelo de la ciudad había guardada la historia de la civilización Azteca de hace siete siglos, las excavaciones fueron más lentas, para no perder los restos de esta civilización, el tipo de terreno del Valle de México estaba constituido por depósitos de sedimentos de origen volcánico, el cual estaba dividido en tres capas que se habían constituido durante los diferentes periodos geológicos lo que había permitido que en la parte más profunda se acumulara en su cuenca de siete litros de agua por uno de suelo.

Esta propuesta de dotar de un tren metropolitano para los ciudadanos que iba dirigido principalmente a las personas que no tenían automóvil y también para reducir el gasto de los usuarios del transporte de la ciudad en materia de transporte y el plan era poner trenes tanto subterráneos, superficiales y elevados, comprados completamente a empresas extranjeras.

Los estudios para la realización del metro le corresponden a la empresa mexicana Ingenieros Civiles Asociados (ICA), la cual tenía contemplado que el metro de la ciudad fuera subterráneo y de neumáticos lo cual eliminaba las vibraciones, tenía más aceleración y subía una pendiente mejor que los de riel; el crédito con el que se contaría vendría directamente de un crédito del Banco Nacional de París con la participación de Ingenieros franceses.

Los principales problemas a los que se enfrentó el proyecto para la construcción del metro fueron esencialmente de tipo técnico, económico, financiero y político, en la cuestión económica donde el costo del proyecto de las primeras tres líneas, inicialmente fue de 2,600 millones para el año de 1965 con 32 kilómetros de longitud y estaba planeado

terminarse para el 20 de Noviembre de 1970, el banco francés estimó que la recuperación de la inversión tanto para el gobierno y usuarios sería de veinte años con sus respectivos intereses, pero el precio de un peso por boleto solucionaría los problemas de subsidios y tarifas.

El problema del suelo fue solucionado como experiencias de otras ciudades del mundo, pero lo más difícil fue convencer a la gente de los beneficios del proyecto, por el inconveniente que traería su construcción.

Para delinear el trazo definitivo de la construcción del metro, se tomó en cuenta el subsuelo, las instalaciones subterráneas de servicios públicos de la zona, los monumentos históricos cercanos, los restos arqueológicos ocultos y las características demográficas de los puntos que enlazan; después de aplicar estos estudios a toda la ciudad fueron examinados todos los flujos de circulación de la ciudad, los principales trayectos según su afluencia y la disponibilidad de los lugares por donde iba a pasar el metro y se eligió un modelo de cruz el cual tendría sus terminales para las primeras tres líneas, en la Línea 1 que iría de Zaragoza a Tacubaya, Línea 2, del pueblo de Tacuba a Tasqueña y Línea 3, de Tlatelolco a Hospital General.

El 29 de Abril de 1967 se estableció, por decreto presidencial, el Sistema de Transporte Colectivo Metro con el propósito de construir, operar y explotar un tren que fuera rápido con recorrido subterráneo y superficial para el transporte colectivo del Distrito Federal, este modo de transporte para la Ciudad de México surge con una idea bastante clara del papel que iba a desarrollar y apoyado totalmente por todo el aparato gubernamental en sus tres niveles de gobierno.

El 19 de Junio de 1967 empezaron los trabajos para la construcción de la primera línea entre las calles de Bucareli y Av. Chapultepec, cuando Alonso Corona del Rosal era regente de la ciudad. La construcción de la primera etapa del metro estuvo bajo la coordinación del Arquitecto Ángel Borja.

Se integraron equipos de trabajo multidisciplinarios, en los que participaron (Tabla 1):

**Tabla 1. Equipos de Trabajo Multidisciplinario**

Ingenierías	Especialistas	Otras Ciencias
Ingenieros Civiles	Computación	Abogados
Ingenieros de Suelos	En tráfico	Arqueólogos
Ingenieros Electricistas	En tránsito	Arquitectos
Ingenieros en Electrónica	Estadística	Biólogos
Ingenieros Geólogos	Obreros especializados	Contadores
Ingeniero Hidráulicos	Sanitarios	Economistas
Ingenieros Mecánicos	Ventilación	
Ingenieros Químicos	Peones	

Fuente: Metro de la Ciudad de México. Antecedentes del Metro de la Ciudad de México

Participaron entre 1,200 y 4,000 especialistas, incluyendo el personal aportado por la asesoría técnica francesa, donde llegaron a laborar 48 mil obreros, 4 mil técnicos y 3 mil administradores, aproximadamente; lo anterior permitió terminar en promedio de un

kilómetro de metro por mes. Estos grupos interdisciplinarios permitieron realizar trazos definitivos de las líneas del metro, de tal forma que durante su construcción se presentaron un mínimo de contingencias.

Durante el estudio del proyecto de la red del metro, se identificaron ciertas características que debían evitarse a toda costa, siendo las más importantes: humedad, consecuencia de las filtraciones del agua freática; sensación de claustrofobia de un espacio cerrado bajo tierra; falta de iluminación; y el uso de materiales de difícil mantenimiento.

El grupo de arquitectos que se encargó del diseño de las estaciones contó con la asesoría de experimentados maestros, entre ellos: Enrique del Moral, Félix Candela, Salvador Ortega y Luis Barragán.

La selección que se llevó de materiales para los acabados también fue importante, se buscaron materiales nacionales de alta durabilidad y de fácil limpieza. Así, la combinación de elementos arquitectónicos y ciertos acabados permitió evitar la fealdad de la solidez de las estaciones.

## 1.2. Etapas de construcción de la red del sistema del transporte colectivo metro

El sistema de transporte colectivo divide en etapas su proceso de construcción. Cada etapa está constituida por la construcción de nuevas líneas, ampliaciones e inauguraciones. Hasta el año 2000 se tiene cuantificadas seis etapas constructivas:

### **Primera etapa (19 de Junio de 1967 - 10 de Junio de 1972)** (Metro de la Ciudad de México)

La construcción de la primera etapa del metro estuvo bajo la coordinación del arquitecto Ángel Borja. Se integraron equipos de trabajo multidisciplinarios, en los que participaron: ingenieros geólogos, de mecánica de suelos, civiles, químicos, hidráulicos y sanitarios, mecánicos, electricistas; arqueólogos; biólogos; arquitectos; especialistas en ventilación, en estadística, en computación, en tráfico y tránsito; contadores; economistas; abogados; obreros especializados y peones.

Durante la construcción participaron entre mil 200 y 4 mil especialistas, incluyendo al personal aportado por la asesoría técnica francesa.

En esta primera etapa de construcción llegaron a laborar 48 mil obreros, 4 mil técnicos y 3 mil administradores. Lo anterior permitió terminar en promedio un kilómetro de metro por mes, un ritmo de construcción que no ha sido igualado en ninguna parte del mundo.

Los grupos interdisciplinarios permitieron realizar los trazos definitivos de las líneas del metro, de tal forma que durante su edificación se presentaron un mínimo de contingencias.

Durante el estudio de pros y contras de la red del metro, se identificaron ciertas características que debían evitarse a toda costa, siendo las más importantes: humedad,

consecuencia de las filtraciones del agua freática; sensación claustrofóbica de un espacio cerrado bajo tierra; falta de iluminación y uso de materiales de difícil mantenimiento.

El grupo de arquitectos que se encargó del diseño de las estaciones contó con la asesoría de experimentados maestros, entre ellos Enrique del Moral, Félix Candela, Salvador Ortega y Luis Barragán. La selección para los acabados también fue importante, se buscaron materiales nacionales de alta durabilidad y de fácil limpieza.

Esta primera etapa consta de tres líneas: la 1 que corre de poniente a oriente, desde Zaragoza hasta Chapultepec; la 2 de Tacuba a Tasqueña y la 3 de Tlatelolco a Hospital General. La longitud total de esta primera red fue de 42.4 kilómetros, con 48 estaciones para el ascenso, descenso y transbordo de los usuarios.

### **Segunda etapa (7 de Septiembre 1977 a finales de 1982)** (Metro de la Ciudad de México)

Se inicia con la creación de la Comisión Técnica Ejecutiva del Metro, el 7 de Septiembre de 1977, para hacerse cargo de la construcción de las ampliaciones de la red.

Posteriormente, el 15 de Enero de 1978, se crea la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano del Distrito Federal, organismo responsable de proyectar, programar, construir, controlar y supervisar las obras de ampliación, adquirir los equipos requeridos, y hacer entrega de instalaciones y equipos al Sistema de Transporte Colectivo para su operación y mantenimiento.

La Comisión de Vialidad y Transporte Urbano se integró de manera parcial, con personal del Sistema de Transporte Colectivo; quedó bajo su responsabilidad la problemática entera del transporte en el Distrito Federal.

Se puede identificar dos fases en esta segunda etapa. La primera corresponde a las prolongaciones de la línea 3: hacia el norte, de Tlatelolco a la Raza, y hacia el sur, de Hospital General a Zapata. Durante la segunda fase, la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano del Distrito Federal (COVITUR) preparó un plan rector de vialidad y transporte del Distrito Federal, y más adelante, en 1980, el primer plan maestro del metro.

Como arranque de esta segunda fase, se inició la construcción de las líneas 4 y 5. Las obras estuvieron a cargo de la empresa de Ingeniería de Sistemas de Transporte Metropolitano, S.A., del consorcio ICA.

Con la conclusión de la segunda etapa, a fines de 1982, la red del metro alcanzó una longitud de 79.5 kilómetros (casi el doble de lo construido en la primera etapa) el número de estaciones aumento a 80.

La línea 4 de Martín Carrera a Santa Anita se construyó como viaducto elevado dada la menor densidad de construcciones altas en la zona, la altura es de 7.5 metros. Esta línea tuvo un costo mucho menor que las subterráneas, consta de 10 estaciones, ocho elevadas, dos superficiales y cinco de correspondencia con otras líneas.

La línea 5 se construyó en tres tramos: el primero, de Pantitlán a Consulado, se inauguró el 19 de Diciembre de 1981; el segundo, de Consulado a la Raza, el 1 de Junio de 1982 y el tercero, de la Raza a Politécnico, en agosto del mismo año. A la edificación de esta línea se le dio una solución de superficie entre Pantitlán y Terminal Aérea, y subterránea, tipo cajón, de Valle Gómez a Politécnico.

### **Tercera etapa (principio de 1983 a finales de 1985)** (Metro de la Ciudad de México)

Consta de ampliaciones a las líneas 1, 2 y 3; asimismo, se inician dos líneas nuevas, la 6 y la 7. La longitud de la red se incrementa en 35.2 kilómetros y el número de estaciones aumenta a 105.

La línea 3 se prolonga de Zapata a Universidad, tramo que se inauguró el 30 de Agosto de 1983; la línea 1, de Zaragoza a Pantitlán, y la línea 2 de Tacuba a Cuatro Caminos, en el límite con el Estado de México; estas últimas dos extensiones fueron inauguradas el 22 de agosto de 1984. Con estas ampliaciones, las líneas 1, 2 y 3 alcanzan su trazo actual.

A la línea 6 se le dio una solución combinada: tipo cajón y superficial. La primera parte de El Rosario a Instituto del Petróleo se concluyó el 21 de Diciembre de 1983. Consta de 9.3 kilómetros de longitud y siete estaciones, dos de ella de correspondencia: El Rosario, con la línea 7 y el Instituto del Petróleo, con la línea 5.

La línea 7 corre al pie de las estribaciones de la Sierra de las Cruces, que rodea el Valle de México por el poniente; el trazo queda fuera de la zona lacustre y los puntos que comunican están a mayor altitud que los hasta entonces enlazados por la red. Por esto, la solución que se utilizó para su construcción fue de tipo túnel profundo. Se entregó en tres tramos: Tacuba-Auditorio, el 20 de Diciembre de 1984; Auditorio-Tacubaya, el 23 de Agosto de 1985; y Tacubaya-Barranca del Muerto, el 19 de Diciembre de 1985. Su conclusión significó un incremento a la red de 13.1 kilómetros y diez estaciones.

### **Cuarta etapa (1985 - 1987)** (Metro de la Ciudad de México)

Esta etapa se compone de las ampliaciones de las líneas 6 (Instituto del Petróleo a Martín Carrera) y 7 (Tacuba a El Rosario), y el inicio de una nueva línea, la 9 de Pantitlán a Tacuba, por una ruta al sur de la que sigue la línea 1. La ampliación de la línea 6 se inauguró el 8 de Julio de 1988; agregó 4.7 kilómetros y cuatro estaciones a la red, la ampliación de la línea 7 se terminó el 29 de Noviembre de 1988 e incrementó la red con 5.7 kilómetros y cuatro estaciones más.

La línea 9 se edificó en dos fases: la primera, de Pantitlán a Centro Médico, concluida el 26 de Agosto de 1987, y la segunda, de Centro Médico a Tacubaya, inaugurada un año más tarde. La nueva línea incorporó a la red 12 estaciones y 15.3 kilómetros; tiene un trazo paralelo a la línea 1, con el propósito de descongestionarla, en las horas punta.

En la construcción de la línea 9 se utilizó el túnel circular profundo y el túnel tipo cajón, en 9.5 kilómetros de longitud partiendo desde Tacubaya, y de viaducto elevado en el tramo restante. De las 12 estaciones, cinco son de correspondencia: Tacubaya, con las líneas 1

y 7; Pantitlán, con las líneas 1, 5 y A; Centro Médico, con la línea 3; Chabacano, con las líneas 2 y 8 y Jamaica, con la línea 4.

### **Quinta etapa (1988 - 1994)** (Metro de la Ciudad de México)

La primera extensión de la red del metro al Estado de México se inició con la construcción de la línea A de Pantitlán a la Paz, se optó para esta línea por una solución de superficie y trenes de ruedas férreas en lugar de neumáticos, ya que se reducían los costos de construcción y mantenimiento. Se edificó un puesto de control y talleres exclusivos para la línea A. Esta línea se inauguró el 12 de Agosto de 1991, agregó diez estaciones y 17 kilómetros de longitud a la red. La estación Pantitlán la pone en correspondencia con las líneas 1, 5 y 9.

El trazo original de la línea 8 fue también modificado, ya que se consideró que su cruce por el Centro Histórico de la ciudad y la correspondencia con la estación Zócalo pondrían en peligro la estabilidad de estructuras de varias construcciones coloniales y se dañarían los restos de la ciudad prehispánica que se encuentra debajo del primer cuadro. El tramo inicial de la línea 8, de Constitución de 1917 a Garibaldi, se inauguró el 20 de Julio de 1994.

Al finalizar la quinta etapa de construcción del metro, se había incrementado la longitud de la red en 37.1 kilómetros, añadiendo dos nuevas líneas y 29 estaciones. Es decir, al finalizar 1994, la red del Metro contaba ya con 178.1 kilómetros de longitud, 154 estaciones y diez líneas.

### **Sexta etapa (1994 - 2000)** (Metro de la Ciudad de México)

Los estudios y proyectos del metropolitano Línea B se iniciaron a fines de 1993 y el 29 de Octubre de 1994 dio inicio su construcción en el tramo subterráneo comprendido entre Buenavista y Plaza Garibaldi.

En Diciembre de 1997 el Gobierno del Distrito Federal recibió 178 kilómetros de red de Metro en operación y en proceso de construcción la Línea B, de Buenavista a Ecatepec, con un avance global de 49%.

La Línea B, de Buenavista a Ciudad Azteca tiene 23.7 kilómetros de longitud, con 13.5 kilómetros en el Distrito Federal, cruzando por las delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero y 10.2 kilómetros en el territorio del Estado de México, en los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec; con 21 estaciones: 13 en la capital y ocho en el Estado de México.

La Línea B en su totalidad está proyectada para movilizar diariamente a 600 mil usuarios. Al 5 de Octubre de 199 se había alcanzado un avance del 77.6%, se continuaron las obras en los 10.2 kilómetros del tramo ubicado en el Estado de México, para terminarla y ponerla en operación en toda su longitud durante el segundo semestre del año 2000.

Al entrar en operación la Línea B, la red en su conjunto se incrementó 13% para alcanzar 201.7 kilómetros.

La construcción y operación del metro influyó de manera directa en todos los servicios de transporte de pasajeros en el área metropolitana de la Ciudad de México de la siguiente manera:

- Se acortan las rutas de los autobuses foráneos, suburbanos y urbanos al impedir su penetración al centro de la Ciudad. En algunos casos la penetración se ha detenido en los límites entre las dos entidades que integran el área y en otros la penetración se ha extendido hasta el circuito interior.
- Se desplazan los servicios de transporte al centro de la ciudad y de algún modo esto ha significado su extinción.
- Ocurre un desplazamiento del capital transportista de los autobuses hacia los taxis colectivos, lo que ha proporcionado la proliferación de este modo dada las características de mayor flexibilidad para cubrir las zonas periféricas.

### **1.3. Plan maestro del metro de la Ciudad de México**

Es un instrumento utilizado para determinar metas de movilidad a cubrir por el Sistema de Transporte Colectivo en diferentes horizontes a futuro. Estas metas representan las ampliaciones óptimas del servicio de acuerdo a políticas de desarrollo urbano y posibilidades de ejecución (Casado, 1985).

Bernardo Quintana Arriola funda y preside, en 1977, el consejo de administración de Constructora Metro, SA de CV, el cual, en colaboración con el Departamento del Distrito Federal crean el plan maestro del metro ese mismo año. El proyecto consideraba la construcción de 5 líneas nuevas y la ampliación de las 3 líneas construidas hasta ese año (líneas 1, 2 y 3). En total se construirían 15 líneas con una longitud total de vía de 315 kilómetros.

En 1985 la Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal presentó a través de la Comisión Vialidad de Transporte Urbano el programa maestro del metro versión 1985 horizonte 2010. En este programa se estableció una longitud total del sistema de 306,285 kilómetros que incluía: 15 líneas principales de rodadura neumática; 8 líneas alimentadoras con características de tren suburbano de rodadura férrea y una línea de tren ligero. La Línea B es la última ruta construida basándose el plan de 1985; su trazo representa la unificación de los trazos de las líneas 10 y B presentadas en ese plan (Casado, 1985).

La Comisión de Vialidad y Transporte Urbano transfirió a la Secretaría de Transportes y Vialidad del Distrito Federal la coordinación del plan maestro del metro y trenes ligeros el 1 de Enero de 1995. El 1 de Septiembre de 1995 ésta coordinación fue transferida al Sistema de Transporte Colectivo.

Como parte del Programa Integral del Transporte y Vialidad 1995-2000 del Distrito Federal, en Agosto de 1996, se dio a conocer el Plan Maestro del Metro y Trenes Ligeros versión 1996. Esta versión incluyó tres horizontes de expansión del sistema para los años 2003, 2009 y 2020, además, propuso una red de 483 kilómetros compuesta por 14 líneas de rodadura neumática, 3 de rodadura férrea y 10 líneas de tren ligero.

**1.3.1. Evolución del plan maestro del metro** (Gutierrez, El Sistema de Transporte Colectivo Metro como una solución viable al problema del transporte en la Ciudad de México 1994-2006, 2008)

El plan maestro de la Secretaría de Transportes y Comunicaciones (S.T.C. Metro) incluye 42 líneas con un recorrido total de 464 kilómetros y 500 estaciones.

Corresponde a las autoridades determinar el orden de construcción de cada línea en base a los estudios que se realicen para determinar la demanda de este tipo de transporte. Como también se deben prever las necesidades que el desarrollo de la demanda trae consigo, tanto en vehículos como en extensión de las líneas actuales y de la creación de otras nuevas para seguir satisfaciendo las necesidades de la población que continuamente va en aumento.

Como cualquier sistema de transporte, un plan maestro proyecta las líneas a construirse, para de esta manera satisfacer una demanda de transporte cada vez más en crecimiento.

### **Plan maestro del metro de 1980, horizonte 2000**

El Sistema de Transporte Colectivo Metro por su decreto de creación y para su expansión y desarrollo futuro, por el programa integral de transportes y el plan maestro de transportes eléctricos, dicho documento, que pasa por revisiones periódicas e interdisciplinarias y cuya influencia en materia de planeación, data de 1960 y 1967 con las tres primeras líneas del metro, elaborándose así la primera versión del plan maestro del metro en 1980.

Plan que fue creado por la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR). Este surge para dar respuesta a la evidente falta de planeación de la primera etapa de metro, se planteó la necesidad de contar con un plan que regulara mejor el crecimiento del metro en la ciudad, así el plan maestro del metro (versión original de 1980) considera diversos objetivos, entre los que destacan los siguientes:

- Corresponder a las corrientes de circulación sobre los que transitan diariamente los mayores volúmenes de pasajeros y cubrir las zonas de mayor densidad demográfica.
- Dar servicios a las zonas más congestionadas.
- Abarcar los centros de actividades principales de la metrópoli.
- Permitir a los usuarios un ahorro de tiempo en sus recorridos, por medio de líneas lo más rectas posibles e interconexiones múltiples.

Con estos puntos en mente los creadores del primer plan maestro de 1980 pretendían llegar a construir, para el año 2000, 378 kilómetros de red integrada de 15 líneas en el

Distrito Federal y 3 más en el Estado de México, para cubrir el área que ya estaba urbanizada en 1978. Operando 807 trenes en intervalos de 100 segundos en la hora de máxima demanda, dicho sistema tendría una capacidad para transportar alrededor de 24 millones de viajes-persona al día, lo que representaría satisfacer casi la mitad de los viajes generados en toda la zona metropolitana de la Ciudad de México. Para el año 2008 no hubo un avance real en la construcción de líneas de metro, donde es evidente no se cumplirán tales metas.

A pesar de que este plan fue revisado, existe una gran preocupación de que se sigan poniendo en práctica los lineamientos de este primer plan y la razón consiste en que las líneas 4, 5, 6 y tramos en la 7 y la 9 que fueron construidas bajo el plan maestro (versión 1980) y estas líneas son las que registran el más bajo nivel de afluencia en todo el sistema a excepción de la Línea 9. Hecho que ya fue reconocido oficialmente y es un claro indicador de la deficiente planeación de la red del STC Metro.

También hay que tomar en cuenta que la Línea 8 fue suspendida temporalmente por el Instituto Nacional de Antropología e Historia debido a que el proceso de construcción no contenía todas las medidas para garantizar la preservación de los lugares del Centro Histórico de la Ciudad de México, según el trazo original de la línea.

Para 1985, la nueva versión de dicho plan postuló diez objetivos:

1. Proporcionar un servicio de transporte colectivo eficiente y satisfactorio donde la demanda los justifique, de acuerdo con 10 lineamientos del programa integral de transporte y vialidad.
2. Obtener el máximo beneficio social en la asignación de inversiones realizándolas en la forma, lugar y momento que las necesidades de la población indiquen.
3. Apoyar las acciones de reordenamiento de la estructura urbana definida en los programas correspondientes.
4. Ofrecer un servicio de transporte colectivo que reduzca el uso intensivo del automóvil.
5. Coadyuvar a los programas de mejoramiento ecológico.
6. Incorporar la opinión de la población en el proceso de planeación del metro.
7. Conformar la red de metro como elemento estructurador del sistema de transporte metropolitano y su conexión con los sistemas interurbanos.
8. Lograr el equilibrio del sistema metro para evitar la congestión o sub-utilización de las líneas.
9. Incrementar las opciones de traslado hacia los centros de trabajo, servicio y recreación.
10. Facilitar la situación de medios de transporte en los corredores cuya demanda futura requiera una línea de metro.

Con lo ya mencionado se pronostica reducciones en la velocidad de las unidades particulares de casi 5 km/h, ya que pasará de 23 km/h actual a 18.2 km/h para el año 2020. En el caso de otros transportes de superficie, también se espera una disminución

en la velocidad urbana promedio, en tanto que el metro mantendrá su misma velocidad, por lo que se convertirá en la opción más rápida de transportación de la Ciudad de México.

Se debe sustituir la idea ya bastante difundida y aceptada, de que el Sistema de Transporte Colectivo Metro debe constituir la columna vertebral y ser el estructurador de los demás modos de transporte, sino que debe asumir lo que realmente le corresponde, dentro del sistema de transporte de la ciudad, aprovechando sus ventajas técnicas y coordinándose para satisfacer los deseos de movilidad, sin constituir parte tan vulnerable del sistema.

El metro debe de transitar donde existan los mayores volúmenes de usuarios potenciales dadas las líneas de deseo, no debe sustituir a otros modos de transporte indiscriminadamente y convertirse en la única opción de traslado, pues ante una falla en el sistema puede provocar un colapso en la transportación de muchos miles de personas.

### **Plan maestro de 1987, horizonte 2010**

Este plan considera un sistema conformado de 14 líneas, creando una red de 315 km; con 274 estaciones e incluye solamente al metro, por lo que no contempla otros transportes como trolebuses, tren ligero o tren suburbano.

La totalidad de las líneas se ubican dentro de los límites del Distrito Federal, con nuevos puntos de intercambio modal en Tenayuca y Villa de Aragón.

Destacan las líneas: Línea 10 (Eje 1 Norte-Oceanía); Línea 11, trazo que quedó pendiente, además de que se nota un vacío en la zona de Azcapotzalco; Línea 12 (Eje 8 Sur); Línea 13 (Eje 5 Sur); Línea 15 (Insurgentes-Norte 45), ahora la ruta 1 del metrobús.

El radio de alcance del metro es de 10 km del Centro de la Ciudad, es decir, tiene como máximo alcance el Anillo Periférico. Otro aspecto que cabe mencionar es el recorrido de la Línea 8, que contemplaba un tramo por el Centro Histórico. Debido a las condiciones de hundimiento de suelo existentes, se decide cambiar el recorrido de la Línea entre Peralvillo y Chabacano, usando como eje de acceso el Eje Central Lázaro Cárdenas y no 5 de Febrero / República de Brasil.

### **Plan maestro de 1997, horizonte 2020**

También llamado Plan Maestro de los Transportes Eléctricos para el Valle de México, el cual es diferente a su predecesor porque considera en número mayor de modos de transporte y éste contempla un total de 27 líneas: 14 líneas de metro neumático, 3 de metro férreo suburbano y 10 líneas de tren ligero; dando un total de red de 483 kilómetros.

**Ampliación de las líneas existentes, según el plan maestro horizonte 2020** (Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997)

*Línea 4:* Esta línea tendrá una doble ampliación, hacia norte y sur:

- Extensión Norte: Martín Carrera a Santa Clara en Ecatepec, Estado de México.
- Extensión Sur: Santa Anita hasta Acoxta, la cual ha sido descartada por ser un tramo paralelo a la Línea 8. Sin embargo, podría reconsiderarse si sólo se construye entre Santa Anita y Tasqueña para dar servicio a la zona poniente Iztacalco.

*Línea 5:* Politécnico a Tlalnepantla, de la línea de tren suburbano, en la colonia Valle Ceylán, la línea podría atravesar el municipio de Tlalnepantla, tal vez llegando hasta el bazar Perinorte y conectar con el Ecotren (tren elevado). También esta línea se puede plantear como una línea circular.

*Línea 6:* Martín Carrera a Villa de Aragón, conectada con la Línea B, se ha considerado construir un ramal hacia San Felipe de Jesús, pero esta opción se ha descartado por proyectarse poca afluencia.

*Línea 7:* Barranca del Muerto a San Jerónimo (glorieta del asta bandera).

*Línea 8:* Escuadrón 201 hasta Acoxta, se debe considerar una posible expansión hacia el norte, para evitar la sobresaturación del paradero de Indios Verdes. Se tenía planeada su apertura en el 2006. Construcción del tramo Garibaldi a Indios Verdes, existe la propuesta que este tramo mejor forme parte de la Línea 12, respetando el tramo de la Línea 8.

*Línea 9:* Esta línea tendrá también una doble ampliación, hacia el oriente y occidente.

- Extensión Oriente: Pantitlán hacia Ciudad Nezahualcóyotl, para evitar la saturación del paradero Pantitlán el cual es uno de los más conflictivos de toda la ciudad.
- Extensión Occidente: Tacubaya a Observatorio, para evitar la saturación del paradero de Observatorio y de la Central Camionera de Occidente.

*Línea B:* Buenavista al Hipódromo de las Américas, continuará por Eje 1 Norte, pasando por debajo de la escuela Normal, la calle Felipe Carrillo Puerto y luego tomar el derecho de vía del F.C. a Cuernavaca. Finalmente, tomaría el Boulevard Cervantes Saavedra para tener su terminal a un costado del Hipódromo, según el Plan Maestro esta cambiaría el nombre posteriormente como Línea 14.

### **Creación de 7 nuevas líneas del metro, según el plan maestro horizonte 2020**

*Línea 10:* Eulalia Guzmán (Eje 2 Norte) hasta Cuicuilco, línea que se construiría bajo la Avenida de los Insurgentes, lo que originalmente era la Línea 15 en el Plan Maestro Original, pensaba conectar ciertas zonas de Azcapotzalco vía Avenida Jardín. Hay que considerar la ampliación de esta línea hasta la Raza y posiblemente crear un servicio conjunto con la Línea 3. Por otro lado, se debe también pensar la extensión de la línea

desde Cuicuilco hasta la salida a Cuernavaca, para dar servicio a Tlalpan, en su lugar se ha construido la primera ruta del Metrobús, por lo que esta línea ya no se construirá.

*Línea 11:* Bellas Artes a Barrientos, en Santa Mónica en el municipio de Tlalnepantla, polémico tren elevado que fue promovido por el arquitecto Roberto Eibenschutz Hartman, Secretario de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno de la Ciudad de México. Se le conoció como ecotren o tren ecológico debido a que sustituiría a 60 mil vehículos automotores a diario los cuales dejarían de consumir 231 mil litros diarios de hidrocarburos. El proyecto fue descrito en el Plan Maestro de Metro y Trenes Ligeros de 1996 como Línea 11. La ruta tenía extensión de 30 kilómetros y 18 estaciones. La administración y operación estaría a cargo del Sistema de Transporte Colectivo Metro. Posiblemente la línea más debatida, ya que en el tramo original supone pasar por colonias de clase media alta y alta (Polanco, Anzures). Una nueva propuesta del gobierno propone crear un ramal a Cuatro Caminos y continuar el tramo principal a Buenavista y Garibaldi utilizando la vía de ferrocarril a Acámbaro.

*Línea 12:* Mixcoac a Constitución de 1917, este era su trazo original y se iba a construir en dos partes, la primera de Mixcoac a Atlalilco, y la segunda parte de Atlalilco a Constitución de 1917. Aunque también existió la propuesta de que esta línea llegara hasta Acoxta, pero finalmente el trazo actual de esta línea es de Mixcoac a Tláhuac.

*Línea 13:* San Lázaro a Echegaray, cuando se inaugure, el tramo existente entre Atlalilco y Constitución de 1917 será parte de esta línea.

*Línea C:* El Rosario a Cuautitlán Izcalli, de no ser construido el tren suburbano, tomaría derecho de vía del Ferrocarril México-Querétaro hasta Lechería, donde podría tomar una desviación por Miguel Hidalgo, para luego enfilarse en la Av. Jorge Jiménez Cantú. Como alternativa, podría irse vía Gustavo Baz hasta Lechería. Adicionalmente, hay que considerar una extensión a Tepetzotlán.

*Línea D:* Santa Clara (Coacalco) a Ojo de Agua, Línea Suburbana; una línea con dos ramales, donde podrían separarse a la altura de la antigua caseta de cobro de Pachuca (Tulpetlac). El ramal de Ojo de Agua conectaría Venta de Carpio, Chiconautla y Ojo de Agua. El ramal de Coacalco podría extenderse hasta Lechería, para conectarse con la Línea C y el ferrocarril suburbano.

### ***Creación de 9 líneas de tren ligero, según el plan maestro horizonte 2020***

*Línea 2 (T2),* Iztapalapa a Chalco: Conectaría la estación de Constitución de 1917 con el Valle de Chalco. Es posible la conexión con la Línea A en Santa Marta. Es la siguiente línea de tren ligero en prioridad.

*Línea 3 (T3),* Villa de Aragón a Emisora: Cruzará por Periférico Oriente, utilizaría el arco oriente del Periférico, desde Villa de Aragón hasta el cruce con la Avenida Tláhuac, podría

estudiarse una extensión por el arco sur del Periférico hasta San Jerónimo, enlazado así el extremo sur de la ciudad.

*Línea 4 (T4)*, Olivar del Conde a Frentes: Conectaría la colonia Olivar del Conde con la Unidad Habitacional Frentes en Iztapalapa, utilizando el eje 5 Sur.

*Línea 5 (T5)*, Pantitlán a la carretera federal México-Texcoco: Atravesaría Ciudad Nezahualcóyotl. Podría ser remplazado por una extensión de la línea 5 0 9 del metro.

*Línea 6 (T6)*, Pantitlán a Estadio Neza 86: Atravesaría Ciudad Nezahualcóyotl vía Av. Bordo de Xochiaca, hasta el estadio Neza 86. Podría ser complemento (o incluso alternativa) de una línea de tren suburbano planeada por el norte de Ciudad Neza.

*Línea 7 (T7)*, El Rosario a México Nuevo: Atravesaría Atizapán, partiría del Rosario, vía Puentes de Vigas, Santa Mónica y Blvd. Adolfo López Mateos, hasta la colonia México Nuevo. Esta línea podría continuar hasta Nicolás Romero.

*Línea 8 (T8)*, Estadio Olímpico a Emisoras: Partiría del Estadio Olímpico Universitario, tomaría Miguel Ángel de Quevedo vía Av. Universidad, tomaría su continuación hasta Av. Tláhuac, para finalizar en Periférico. No se ha contemplado una eventual extensión hacia Tláhuac y posiblemente Milpa Alta, que bien pudiera enlazarse por esta línea. De hecho el Plan Maestro no considera la construcción de transporte masivo en esas áreas.

*Línea 9 (T9)*, Frentes a Estadio Neza 86: Eventual continuación de la T4 vía la extensión del Eje 5 Sur y Av. Carmelo Pérez hacia el Estadio Neza 86. Se podría fusionar con la T4 para dar un sólo recorrido entre Olivar del Conde y el estadio Neza 86.

*Línea 10 (T10)*, Ciudad Azteca a Venta de Carpio: Continuación de la Línea B del metro por la Av. Hank González hasta Venta de Carpio, para conectar con la Línea C del metro suburbano. Esta línea sólo será factible sino se construye el tren suburbano de Jardines de Morelos.

El plan horizonte 2020, a comparación de los anteriores es un plan muy ambicioso, por el costo que este implica, además podemos ver que este plan, lamentablemente no se va a poder concretar, ya estamos en el 2013 y muchas de sus líneas que se tenían planeadas crear, estas no han visto luz, ya que el gobierno capitalino ha apostado más por la construcción de las líneas del metrobús, las cuales son mucho más económicas, pero no igual de eficientes que el metro, aunque lo recomendable sería seguir con el plan maestro actual, sin embargo el gobierno actual ha preferido las soluciones parciales de alto costo, sin ver por la continuidad del plan maestro horizonte 2020.

## Investigación sobre el Cruce y Construcción de la Línea 12 con Periférico Oriente

**Tabla 2. Tramos que abarcan las líneas de acuerdo al plan maestro oficial del metro**

Línea	Descripción	Prioridad
4	Extensión de la línea 4 de Martín carrera a la colonia Santa Clara en Ecatepec Edo.de México.	2
5	Extensión desde Politécnico hasta la estación Tlalnepantla de la línea del tren suburbano, en la colonia Valle Ceylán.	2
6	Ampliación entre Martín Carrera y Villa de Aragón, conectando con la línea B.	3
7	Extensión desde Barranca del Muerto a San Jerónimo (glorieta del asta bandera).	1
8	Construcción del tramo Garibaldi-Indios Verdes.	1
8	Extensión de la línea desde Escuadrón 201 hasta Acoxta.	1
9	Extensión de Tacubaya a Observatorio.	2
10	Línea construida bajo la Avenida de los Insurgentes, desde Eulalia Guzmán (Eje 2 Norte) hasta Cuicuilco.	2
11	El polémico tren elevado entre Bellas Artes y Barrientos (originalmente Santa Mónica). También llamado Ecotren.	2
12	Construcción del tramo Mixcoac-Atlalilco.	1
13	Línea Sana Lázaro-Echegaray.	3
B	Extensión de la línea de Buenavista al Hipódromo de las Américas.	3
C	Línea suburbana El Rosario-Cuautitlán Izcali.	3
D	Línea suburbana Santa Clara-Coacalco/Ojo de Agua	3
T2	Tren Ligero Iztapalapa-Chalco	2
T3	Tren Ligero Periférico Oriente	3
T4	Tren Ligero Olivar del Conde-Frentes	3
T5	Tren Ligero de Netzahualcóyotl	3
T6	Tren Ligero de Netzahualcóyotl-Xochiaca	3
T7	Tren Ligero de Atizapán	3
T8	Tren Ligero Estadio Olímpico-Emisoras	3
T9	Tren Ligero Frentes-Estadio Neza 86	3
T10	Tren Ligero Cd. Azteca-Venta de Carpio	3

## 1.4. Situación actual del metro de la Ciudad de México

El metro de la Ciudad de México es un sistema de transporte público tipo tren pesado que sirve a extensas áreas del Distrito Federal y parte del Estado de México. Su operación y explotación está a cargo del organismo público descentralizado: Sistema de Transporte Colectivo (STC) mientras su construcción queda a cargo del organismo de la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal llamado Proyecto Metro del Distrito Federal (PMDF).

Según el estatuto del Sistema de Transporte Colectivo en su artículo 1, este fue creado por decreto el 19 de Abril de 1967, por el Lic. Gustavo Días Ordaz, presidente de los Estados Unidos Mexicanos, publicado en el Diario Oficial de la Federación, en su artículo 2, especifica que el STC es un organismo público descentralizado de la Administración Pública Paraestatal del Distrito Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propios. Su cabeza de sector es el Departamento del Distrito Federal, donde el STC tiene como objetivo la construcción, operación y explotación de un tren rápido, con recorrido subterráneo, superficial y elevado; para un transporte colectivo, rápido, eficaz y seguro en el distrito Federal (Metro de la Ciudad de México).

El metro de la Ciudad de México cuenta con 11 líneas, sin tomar en cuenta la Línea 12 tema de esta investigación. Cada línea tiene asignado un número y un color distintivo (números del 1 al 9, y las letras A, B). El parque vehicular está formado por trenes de rodadura neumática a excepción de la línea A que emplea trenes de rodadura férrea. La extensión total de la red es de 201, 388 kilómetros y posee un total de 175 estaciones de las cuales: 112 son de paso, 41 de transbordo y 22 terminales (11 de las terminales son de transbordo). El metro está construido de forma subterránea, superficial y viaducto elevado: 106 estaciones son subterráneas, 53 superficiales y 16 en viaducto elevado; 164 estaciones se encuentran en la Ciudad de México y 11 en el Estado de México (Metro de la Ciudad de México).

A continuación se muestran algunos datos de operación:

### **Longitudes de las líneas**

**Tabla 3. Longitudes de las líneas**

Líneas	Subterráneo	Superficial	Elevado	Operación	Servicio	Vuelta	Total
1	16.786	0.916	-	17.702	16.654	34.474	18.828
2	12.550	9.456	-	22.006	20.713	42.446	23.431
3	18.145	4.449		22.594	21.278	43.724	23.609
4	-	1.312	9.435	10.747	9.363	19.898	10.747
5	4.951	10.724	-	15.675	14.435	30.109	15.675
6	11.858	1.146	-	13.004	11.434	23.934	13.947
7	17.754	0.646	-	18.400	17.011	35.184	18.784
8	14.301	5.073	-	19.374	17.679	36.676	20.078

## Investigación sobre el Cruce y Construcción de la Línea 12 con Periférico Oriente

Líneas	Subterráneo	Superficial	Elevado	Operación	Servicio	Vuelta	Total
9	9.531	-	4.913	14.444	13.033	27.061	15.375
A	2.041	15.151	-	17.192	14.893	30.742	17.192
B	5.380	12.680	-	22.245	20.278	41.570	23.722
<b>RED</b>	<b>113.297</b>	<b>61.553</b>	<b>18.533</b>	<b>193.383</b>	<b>176.771</b>	<b>365.818</b>	<b>201.388</b>

Fuente: Coordinación de Desarrollo Tecnológico.

### Clasificación de las estaciones por uso y por tipo

Tabla 4. Estaciones por uso y por tipo

Línea	Clasificación por su uso					Clasificación por su Tipo			
	Terminales		Estaciones			Total	Subterráneas	Superficiales	Elevadas
Sin Correspondencia	Con Correspondencia	De Paso	De Correspondencia						
1	1	1	12	6	20	19	1	0	20
2	2	0	17	5	24	14	10	0	24
3	2	0	13	6	21	17	4	0	21
4	0	2	4	4	10	0	2	8	10
5	1	1	7	4	13	4	9	0	13
6	0	2	7	2	11	10	1	0	11
7	1	1	10	2	14	13	1	0	14
8	1	1	13	4	19	14	5	0	19
9	0	2	7	3	12	8	0	4	12
"A"	1	1	8	0	10	1	9	0	10
"B"	2	0	14	5	21	6	11	4	21
<b>RED</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>112</b>	<b>41</b>	<b>175</b>	<b>106</b>	<b>53</b>	<b>16</b>	<b>175</b>

Fuente: Coordinación de Desarrollo Tecnológico.

### Estaciones de mayor afluencia

Tabla 5. Estaciones de mayor afluencia

Enero - Marzo			Abril - Junio		
Líneas	Estación	Afluencia	Líneas	Estación	Afluencia
2	Cuatro caminos	130,337	2	Tasqueña	132,720
3	Indios Verdes	125,509	2	Cuatro caminos	113,825
2	Tasqueña	120,998	3	Indios Verdes	111,813
A	Pantitlán	105,594	A	Pantitlán	100,529

## Investigación sobre el Cruce y Construcción de la Línea 12 con Periférico Oriente

Enero - Marzo			Abril - Junio		
Líneas	Estación	Afluencia	Líneas	Estación	Afluencia
8	Constitución de 1917	91,960	3	Universidad	92,428
3	Universidad	84,298	9	Tacubaya	85,242
9	Pantitlán	75,861	1	Observatorio	69,473
1	Observatorio	70,596	B	Ciudad Azteca	68,074
B	Ciudad Azteca	68,976	8	Constitución de 1917	67,863
5	Pantitlán	67,208	5	Pantitlán	66,324
9	Tacubaya	66,573	8	Garibaldi	58,958
1	Zaragoza	61,332	1	Pantitlán	57,895
1	Insurgentes	59,926	B	Buenavista	56,279
B	Buenavista	57,994	1	Moctezuma	55,002
1	Chapultepec	55,390	9	Pantitlán	54,153
1	Pantitlán	53,888	1	Boulevard Pto. Aéreo	53,906
3	Deportivo 18 de Marzo	51,052	1	Zaragoza	51,903
2	Zócalo	50,829	1	Tacubaya	51,557
3	Copilco	46,064	3	Deportivo 18 de Marzo	48,637
9	Chilpancingo	44,458	2	Zócalo	46,311

Fuente: Metro Ciudad de México, datos de operación.

### **Estaciones de menor afluencia**

**Tabla 6. Estaciones de menor afluencia**

Enero - Marzo			Abril - Junio		
Líneas	Estación	Afluencia	Líneas	Estación	Afluencia
6	Depto. 18 de Marzo	3,983	5	Valle Gómez	50,80
4	Santa Anita	4,864	6	Depto. 18 de Marzo	5,501
5	Valle Gómez	5,187	B	Morelos	5,504
8	Chabacano	5,365	5	Hangares	5,883
6	Instituto del Petróleo	5,590	5	Consulado	5,973
4	Consulado	5,641	4	Candelaria	6,110
5	Hangares	5,888	6	Inst. del Petróleo	6,171
B	Morelos	5,941	B	Guerreo	6,173
5	Consulado	6,141	4	Consulado	6,341

## Investigación sobre el Cruce y Construcción de la Línea 12 con Periférico Oriente

Enero - Marzo			Abril - Junio		
Líneas	Estación	Afluencia	Líneas	Estación	Afluencia
B	Guerrero	6,252	B	Bosque de Aragón	6,797
B	Bosque de Aragón	6,745	6	Norte 45	7,117
4	Candelaria	7,431	8	Chabacano	7,287
B	Garibaldi	7,521	B	R. Flores Magón	7,363
B	Ricardo Flores Magón	7,538	5	Inst. del Petróleo	7,395
4	Talismán	7,603	4	Fray Servando	7,474
5	Instituto del Petróleo	7,689	6	Azcapotzalco	7,539
4	Jamaica	7,893	B	Garibaldi	7,652
4	Bondojito	8,057	4	Bondojito	7,761
7	Tacubaya	8,061	4	Jamaica	7,765
4	Fray Servando	8,163	4	Talismán	7,765

Fuente: Metro Ciudad de México, datos de operación.

## Capítulo 2. Descripción de la Línea 12 del metro

### 2.1. Introducción Proyecto Línea 12

El Proyecto Metro del Distrito Federal (PMDF) a solicitud del Gobierno del Distrito Federal (GDF), planteó la construcción de la Línea 12 para conmemorar el Bicentenario de la Independencia de México, llevando por nombre “Dorada” y así darle solución al problema de transporte de la zona oriente. Con la construcción de esta línea se generan una serie de beneficios que ayudan a disminuir la brecha entre los niveles de bienestar y desarrollo de la Ciudad de México. Todo esto emanado del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal 2007-2012 y apoyado en el Plan Maestro del Metro (Proyecto Metro del Distrito Federal).

La construcción de la línea 12 del Metro tiene como objetivos principales brindar un servicio de transporte masivo de pasajeros en forma segura, económica, rápida y ecológicamente sustentable a la población del Distrito Federal que habita en las delegaciones de Tláhuac, Iztapalapa, Coyoacán, Benito Juárez, Xochimilco (desde Tulyehualco) y Álvaro Obregón; y mejorar el desempeño de la totalidad de la Red del Metro, al proporcionar conectividad con las Líneas 8, 2, 3 y 7 en el sur de la Ciudad de México. Con esto se pretende dar respuesta a la necesidad de proveer un transporte público eficiente que comunique a la zona sur-oriente con el poniente de la Ciudad de México (Metro de la Ciudad de México).

La Línea 12 Dorada del Bicentenario Tláhuac- Mixcoac es la obra más grande de construcción en todo el país proporcionando múltiples beneficios para los usuarios. La obra se divide en dos etapas, la primera partiendo de Tláhuac a Atlalilco, iniciando en Julio de 2008 y concluyendo en Abril de 2011. La segunda etapa se realizó de Atlalilco a Mixcoac; la Línea 12 fue inaugurada el 30 de Octubre de 2012.

El proyecto de la Línea 12 del metro se contrató bajo la modalidad de proyecto integral, que consiste en el desarrollo del proyecto y la obra casi simultáneamente bajo la dirección y responsabilidad de la misma contratista. Sobre la base de a precio alzado y tiempo determinado, misma que está integrada por, 20 estaciones, 20 tramos, 3 pasarelas de correspondencia, 2 naves de depósito y un taller.

La inversión necesaria, la ubica como la mayor de las obras de infraestructura de los próximos años a nivel nacional. La línea recorre la ciudad de sur-oriente a poniente comenzando en Tláhuac y finalizando en Mixcoac. Forma parte del programa de inversión pública más grande del país de los últimos 10 años por contar con la cantidad de 17, 583 millones de pesos.

El proyecto es el resultado de la interacción de múltiples disciplinas como son arquitectura, urbanismo, estructuras, geotecnia, instalaciones hidrosanitarias, instalaciones eléctricas, topografía, así como disciplinas correspondientes a las instalaciones electromecánicas. Todas ellas encaminadas a cumplir con normas y

estándares de calidad tanto en el desarrollo del diseño como la construcción de índole nacional e internacional, que permitan al usuario de la Línea 12 del metro transportarse de manera segura, confortable y eficaz, permitiéndole un ahorro significativo en el tiempo de traslado para desarrollar sus actividades diarias.

En el proyecto integral de la Línea 12 del metro se llevan a cabo diversos estudios, enfocados a resolver diversos aspectos relacionados con el transporte público de pasajeros, como son:

- Topográficos. Determinar la trayectoria y todas las características urbanas de la zona de influencia.
- Geotécnicos. Determinar las características del subsuelo.
- Obras inducidas. Ubicar las instalaciones municipales y privadas existentes a lo largo de la trayectoria.
- Impacto Ambiental. Panorama de la región desde el punto de vista ambiental, así como las posibles afectaciones y medidas de mitigación.
- Movilidad. Determinar rutas actuales de transporte, donde se requiera ubicar la nueva línea y sus estaciones, su impacto y la demanda a satisfacer.
- En materia de arqueología. Localizar los sitios arqueológicos y de valor histórico a lo largo del trazo, para permitir que el INAH realice sus exploraciones.
- En materia de afectaciones. Identificar todos los predios y edificaciones que se verán afectados por la construcción de la nueva línea, ya sea temporal o definitiva.

Los objetivos específicos de la construcción de la Línea 12 son los siguientes (Transparencia Línea 12):

- Mejorar la conectividad de la zona sur-oriente con el Centro de la Ciudad de México.
- Incrementar las opciones de transporte con una alternativa rápida y eficiente.
- Dar servicio a lo largo de su recorrido, en forma directa a las Delegaciones: Tláhuac, Iztapalapa, Benito Juárez y en forma indirecta a Milpa Alta, Xochimilco, Coyoacán y Álvaro Obregón.
- Mejorar la vialidad en la zona sur-oriente del Distrito Federal, agilizando el flujo de usuarios en las horas de mayor demanda de transporte dentro de la Ciudad.
- Reordenar el transporte a lo largo de los corredores viales de su recorrido.

Para la construcción de la Línea 12 se llevan a cabo 4 procedimientos constructivos que a continuación se describen (Proyecto Metro del Distrito Federal):

1. Sección superficial (Figura 1). Básicamente es una sección conocida como tipo U, la cual comienza con la excavación a nivel de terreno o vialidad para la construcción de losas y muros que estructurarán este tipo de sección. Las estaciones superficiales se complementan con la construcción de columnas, techumbres y accesos.



Figura 1. Sección superficial

2. Sección elevada (Figura 2). Consiste en un viaducto elevado similar a los puentes vehiculares, su construcción se basa en el hincado de pilotes, a continuación la excavación de zapatas de cimentación en las que se montarán las columnas de apoyo, sobre las que se colocan cabezales, mismos que darán soporte a las traveses entre apoyos, que dan forma a la sección donde circula el metro.

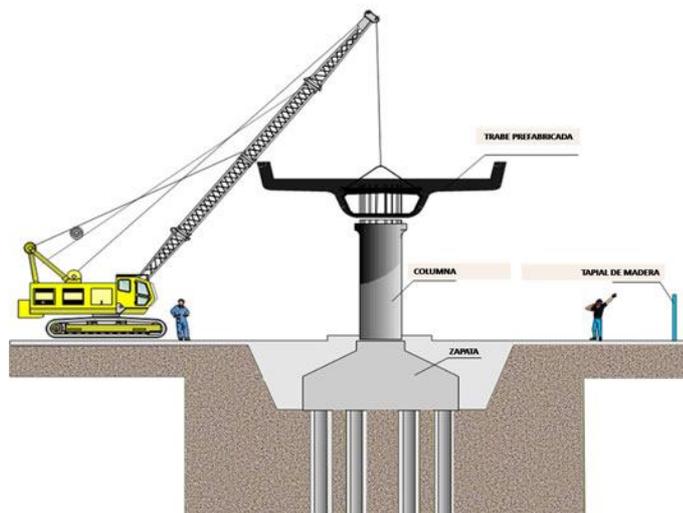


Figura 2. Sección elevada

3. Sección en cajón subterráneo (Figura 3). Consiste en una estructura rectangular que se construye por debajo del nivel de terreno o vialidad, similar a un túnel pero de menor profundidad. Comienza con la construcción de brocales o guías de muro Milán o perimetrales que darán el soporte y apoyo para la excavación a cielo abierto, posteriormente la construcción de una losa de fondo y de una losa tapa que complementará la estructura rectangular, por último se rellena con materiales sobre la losa tapa hasta el nivel de asfalto, con lo que se restituye la vialidad, es el

procedimiento constructivo que representa más afectaciones en obras inducidas y vialidad.

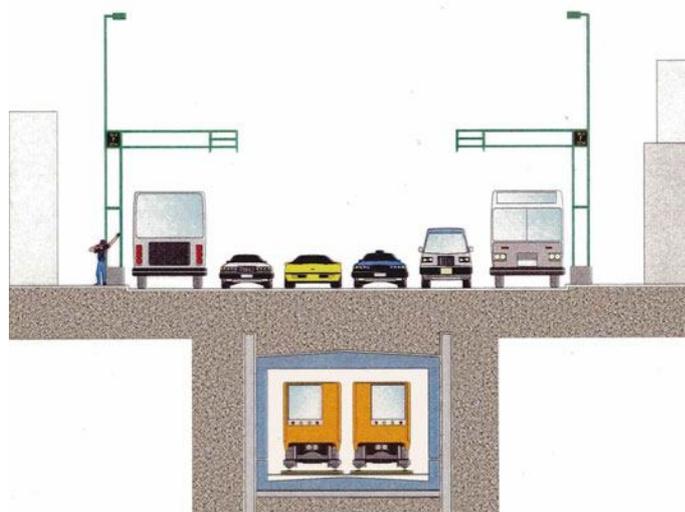


Figura 3. Sección en cajón subterráneo

4. Sección túnel con Escudo de Presión de Tierras (EPB) (Figura 4). Se trata de un sistema moderno de perforación profunda que se realiza con una máquina tuneladora (EPB), la cual tiene un diámetro de 10.2 m, una longitud de 100 m, perfora y coloca a su paso los anillos de concreto que forman el túnel a una profundidad promedio de 25 m bajo el piso.



Figura 4. Sección túnel con EPB

## 2.2. Trazo Línea 12

El trazo de la Línea 12 Tláhuac-Mixcoac está basado en las especificaciones para el proyecto y construcción de las líneas del metro de la Ciudad de México. Inicia en los predios baldíos denominados Terromotitla de la Delegación Tláhuac, corre paralela al Canal Acalote incorporándose en el cruce de la calle Luis Delgado con la Av. Tláhuac desarrollándose a lo largo de ésta hasta la calzada Ermita Iztapalapa siguiendo al poniente por la Av. Popocatepetl y toma a la derecha en la Av. División del Norte retomando el poniente por las avenidas Municipio Libre, Félix Cuevas, Extremadura y la calle Benvenuto Cellini hasta Periférico (Gobierno del Distrito Federal).

El inicio del tramo se encuentra en el cadenamiento 3+936.063, referido a los Talleres de la estación terminal Tláhuac y el final referido a la cabecera poniente de los andenes de la estación Mixcoac en el cadenamiento 28+896, con una longitud total aproximada de 24,959.937 metros.

En su concepto general el trazo está dividido en cuatro tramos, diferenciándose entre ellos por su sección tipo: superficial, elevada, cajón subterráneo y túnel. A continuación se exponen las longitudes de cada uno de los tipos de secciones (Tabla 7):

**Tabla 7. Longitud por tipo de sección**

Sección	Longitud (m)
Superficial	2,872
Elevado	11,740
Cajón subterráneo	1,762
Túnel con escudo	6,370
Túnel en mina	1,093

El primer tramo con la sección superficial se desarrolla paralelo al canal de salida de los talleres de la estación Tláhuac, hasta la intersección con la avenida Tláhuac y la estación de Tlaltenco. Una vez entrando a la avenida Tláhuac el trazo del metro queda centrado hasta la intersección con la avenida Ermita Iztapalapa. Hasta la altura del cruce con la Calzada Tasqueña, ubicación de la estación Barrio Tula, la sección es elevada. Tras esta estación y sobre la misma avenida Tláhuac, a la altura de la calle Moctezuma es donde la línea se entierra pasando a ser una sección en cajón subterráneo.

La sección en cajón subterráneo se mantiene hasta la altura de la calle Centeno, pasada la cual se ubica la lumbrera de entrada del escudo. Desde esta lumbrera, el trazo se desarrolla en sección tipo túnel hasta antes poco de la estación Mixcoac, excluyendo las estaciones y los abocinamientos ejecutados a cielo abierto. El último tramo se ejecuta como túnel en mina.

La construcción se lleva a cabo en dos etapas, la primera desde el Depósito y Talleres Tláhuac hasta la Estación Atlalilco y la segunda de ésta hasta el Depósito Mixcoac.

El trazo definitivo de la Línea 12 (Figura 5), es el resultado de un análisis y estudio profundo de movilidad y capacitación de usuarios, además de ser condicionado por algunos

## Investigación sobre el Cruce y Construcción de la Línea 12 con Periférico Oriente

elementos existentes, tales como: obras inducidas, asentamientos humanos, tránsito vehicular, condiciones del subsuelo, topografía del terreno, afectaciones, vialidades existentes, correspondencias, arqueología, etc.

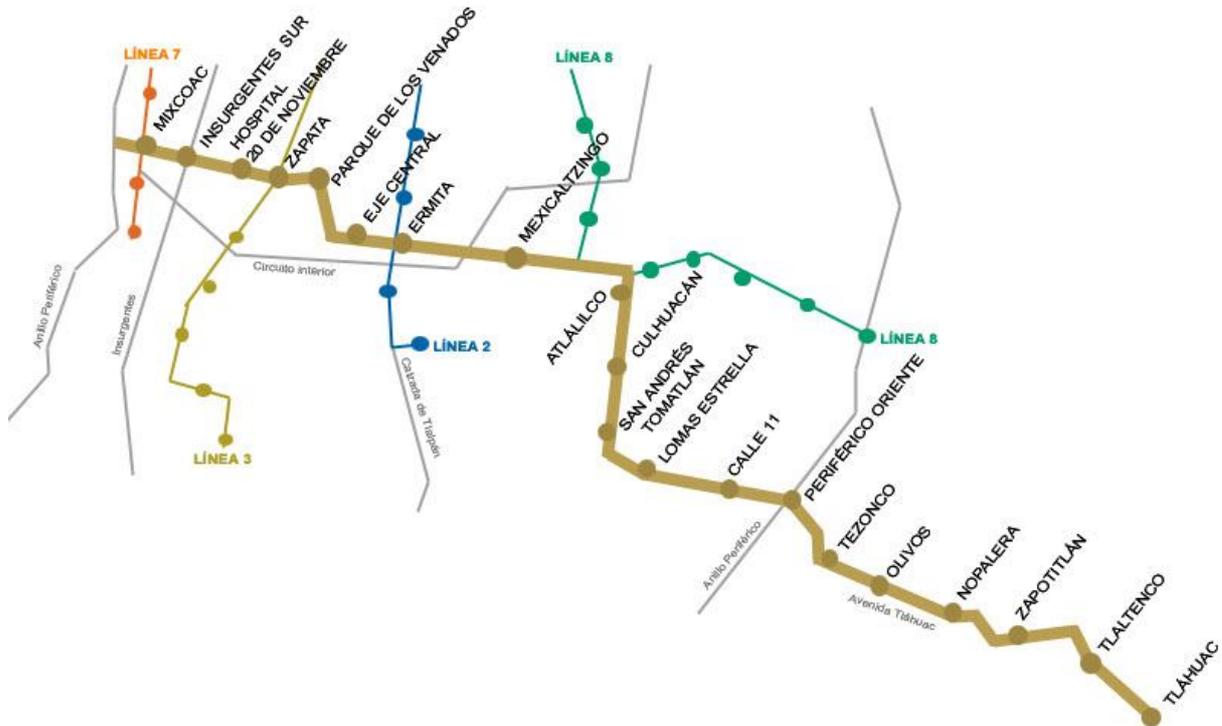


Figura 5. Trazo Línea 12

Las estaciones con las que cuenta la Línea 12 son: Tláhuac, Tlaltenco, Zapotitlán, Nopalera, Olivos, San Lorenzo, Periférico Oriente, Calle 11, Lomas Estrella, San Andrés Tomatlán, Culhuacán, Atlalilco, Mexicaltzingo, Ermita, Eje Central, Parque de los Venados, Zapata, 20 de Noviembre, Insurgentes Sur y Mixcoac.

La línea 12 del Metro de la Ciudad de México está conformada por 20 estaciones, de las cuales 2 son estaciones de tipo terminal, 4 son estaciones de correspondencia y 15 corresponden a estaciones de paso. A continuación se exponen algunas de sus características principales (Tabla 8).

Tabla 8. Características de las estaciones que conforman la Línea 12 del metro

No.	Estación	Sección	Tipo	Área total (m <sup>2</sup> )	Ubicación	Delegaciones atendidas	Captación (usuarios/día)
1	Tláhuac	Superficial	Terminal	10,227	Av. San Rafael Atlixco entre la Calle Mar de los Nublados y Av. Antonio Bejar.	Tláhuac.	57,093
2	Tlaltengo	Superficial	De paso	6,246	San Rafael Atlixco esquina con Calle 1ª Privada Acueducto.	Tláhuac.	10,493
3	Zapotitlán	Elevado	De paso	6,543	Av. Tláhuac esquina con Emilio Laurent	Tláhuac.	31,275
4	Nopalera	Elevado	De paso	6,924	Av. Tláhuac entre Bodas de Fígaro y Arabella.	Tláhuac.	23,946
5	Olivos	Elevado	De paso	5,854	Av. Tláhuac entre las calles de Escorpena y Panal	Tláhuac.	39,971
6	San Lorenzo	Elevado	De paso	5,783	Av. Tláhuac entre Ignacio Barrera y Fec Polo Rodríguez	Iztapalapa	49,768
7	Periférico Ote.	Elevado	De paso	9,308	Av. Tláhuac esquina con Anillo Periférico	Iztapalapa	34,004
8	Calle 11	Elevado	De paso	6,938	Av. Tláhuac entre las calles Av. 11 y Técnicos y Manuales	Iztapalapa	18,254
9	Lomas Estrella	Elevado	De paso	5,585	Av. Tláhuac entre Lesina y Sassari	Iztapalapa	9,804
10	San Andrés Tomatlán	Elevado	De paso	5,607	Av. Tláhuac entre Bandera Francisco y Bruguet	Iztapalapa	19,779
11	Culhuacán	Elevado	De paso	6,423	Av. Tláhuac esquina con Benito Juárez	Iztapalapa	27,689
12	Atlalilco	Cajón	Correspondencia	15,344	Av. Tláhuac entre campesinos y agricultores	Iztapalapa	33,157
13	Mexilcatzingo	Túnel	De paso	9,134	Calz. Ermita Izatapalapa casi esquina con Calz. de la Viga	Iztapalapa y Coyoacán	9,854
14	Ermita	Túnel	Correspondencia	15,725	Av. Ermita Izatapalapa entre Marimar y Miravalle	Benito Juárez	12,458
15	Eje Central	Túnel	De paso	8,640	Eje 8 Sur Popocatepetl esquina con Eje Central Lázaro Cárdenas	Benito Juárez	10,421
16	Parque de los Venados	Túnel	De paso	11,598	Eje 7 Sur Municipio Libre entre Ixcateopan y Xochialco	Benito Juárez	1,054
17	Zapata	Túnel	Correspondencia	13,920	Eje 7 Sur Félix Cuevas esquina con Av. Universidad	Benito Juárez	3,478
18	20 de Noviembre	Túnel	De paso	9,161	Eje 7 Sur Félix Cuevas esquina con Av. Coyoacan	Benito Juárez	3,418
19	Insurgentes Sur	Túnel	De paso	9,224	Eje 7 Sur Félix Cuevas esquina con Insurgentes	Benito Juárez	1,011
20	Mixcoac	Túnel	Terminal/Corres.	14, 259	Av. Extremadura esquina con patriotismo	Benito Juárez	42,068

El tipo de cimentación que se adopta en cada zona es diferente, pues es necesaria su adecuación a las características del subsuelo, a las magnitudes del hundimiento regional y a las solicitaciones sísmicas; por lo que en las transiciones de una zona de obra se toman medidas en las cimentaciones para promover cambios graduales del comportamiento por hundimiento regional, y además, se toman medidas en el diseño de la superestructura para que ésta sea capaz, por una parte de absorber deformaciones por asentamientos diferenciales y desplazamientos horizontales y por otra, contar con dispositivos de ajuste de niveles tanto en cimentación como en superestructura, que permitan a través de un programa de mantenimiento realizar ajustes durante la vida útil de la línea.

El trazo de la Línea 12 del metro considera su recorrido de oriente a poniente, desde el pueblo de Tláhuac hasta la colonia Mixcoac, con las principales características (Spectron Desarrollo, 8 de Junio de 2009):

- Longitud total de 24.5 kilómetros
- 20 estaciones
- Intersecciones con las líneas 7 (estación Mixcoac), 3 (estación Zapata), 2 (estación Ermita) y 8 (estación Atlalilco).
- Distancia media entre estaciones de 1,060 metros, con distancia mínima de 617 metros y distancia máxima de 1,741 metros.
- Longitud de los andenes de 150 metros (en formación de 9 coches)
- Flota de 28 trenes de rodadura férrea, con 23 trenes para operación, 3 trenes en mantenimiento y 2 trenes de reserva.
- Tiempo promedio por vuelta de 35.9 minutos, con velocidad promedio de recorrido de 41 km/h (ya incluyendo los tiempos de parada en las estaciones)
- Capacidad de transportar hasta 30,936 pasajeros/hora/sentido, con intervalos de servicio de 189 segundos.
- Demanda estimada para el primer año de operación de 437 mil viajes por día.

### **2.3. Forma de contratación del proyecto Línea 12** (Gobierno del Distrito Federal)

El proyecto metro del Distrito Federal al programar la obra, optó por realizar la contratación de la misma a través de licitación pública internacional como proyecto integral y a precio alzado. Es decir, se licitó bajo la modalidad de licitación pública internacional considerando proyecto integral a precio alzado con la participación internacional de empresas que cumplieran con las condiciones técnicas, legales y económicas requeridas para participar en la licitación, considerando que el desarrollo del proyecto ejecutivo es parte de la ejecución de los trabajos y que el precio que debe considerarse para ello a precio alzado, es decir, con un importe total fijo que se cubrirá al licitante ganador mediante ministraciones (pagos) elaboradas en función de avances o actividades terminadas. Es así, como se procedió una vez concluido el proceso de licitación, a la contratación de los trabajos a: Ingenieros Civiles Asociados (ICA), quien

conjuntamente presentó su propuesta con Alstom Mexicana y Carso Infraestructura y Construcción.

Quienes proceden a la construcción de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo Tláhuac – Mixcoac del metro bajo el contrato de obra pública a precio alzado y tiempo determinado número 8.07 C0 01 T.2.022, habiéndose planeado para ejecutarse del 3 de julio de 2008 al 31 de diciembre de 2011 consistente en:

“Proyecto Integral a Precio Alzado y Tiempo Determinado para la construcción de la Línea 12 Tláhuac – Mixcoac del Sistema de Transporte Colectivo, comprendiendo los estudios y análisis necesarios; anteproyectos; proyectos ejecutivos; construcción; instalaciones fijas; pruebas; marcha en vacío y puesta en servicio; capacitación y requerimientos del organismo operador, teniendo como terminación final en las zonas de intertramos y estaciones subterráneas hasta el nivel de cajón impermeabilizado”.

Sin embargo, por diversas circunstancias fue necesario elaborar el convenio modificatorio No. 1 al contrato de Obra Pública a Precio Alzado y Tiempo determinado número 8.07 C0 01 T.2.022, el cual no modifica el alcance originalmente contratado, sólo se modifica la ejecución de los trabajos que es del 31 de octubre de 2008 al 30 de abril de 2012.

La construcción de la Línea 12 del Metro Tláhuac – Mixcoac se lleva a cabo por el consorcio integrado por tres importantes empresas: Ingenieros Civiles Asociados (ICA), Carso y Alstom, cuyo contrato asciende a la cantidad de \$17,583 millones de pesos y su ejecución comprenderá del año 2008 al 2012 e involucra desde los estudios previos que dan certeza y viabilidad al proyecto hasta la construcción de la obra civil y electromecánica, las pruebas y puesta en funcionamiento.

Se estima que el proyecto total requerirá un monto aproximado de 19,800 millones de pesos, el cual incluye además de la construcción ya mencionada, la supervisión de la obra, los apoyos técnicos, la rehabilitación de vialidades, así como las obras inducidas relacionadas con las afectaciones a las instalaciones existentes a lo largo del trazo de la línea y las complementarias, como son la construcción de plazoletas, guarderías y policlínicas.

A continuación se indican los porcentajes de ejecución correspondientes a cada una de las empresas que integran el Consorcio (Tabla 9):

**Tabla 9. Porcentaje de ejecución**

Tipo de Obra	Empresa	Porcentaje (%)
Civil	ICA	75
Civil	Carso	25
Electromecánica	Alstom	100

## 2.4. Beneficios de la construcción de la Línea 12

La Línea 12 o Línea Dorada que corre de Tláhuac a Mixcoac es la obra más grande en construcción de todo el país proporcionando múltiples beneficios para los usuarios. La obra se divide en dos etapas, la primera concluyendo en abril de 2011 y la segunda concluyendo en octubre de 2012. Se construye en función de la demanda poblacional reflejada en estudios previos a su construcción, principalmente los de origen y destino.

La Línea 12, será la más larga del Sistema de Transporte Colectivo teniendo 25.1 kilómetros de longitud y 20 estaciones; tendrá una estación terminal en los límites del Estado de México, en donde se captará el transporte de superficie de las delegaciones Tláhuac y Milpa Alta en el Distrito Federal y los municipios de Chalco, Valle de Chalco, San Miguel Xico, Ayotla, Ixtapaluca del Estado de México; tendrá una captación de 475,000 los usuarios; conectará las Líneas 2, 3, 7 y 8; incorporará las ventajas de la tecnología férrea: mayor velocidad-menor costo de mantenimiento; mejorará la vialidad en la zona Sur-Oriente del Distrito Federal en las horas de máxima demanda de transporte y reordenará el transporte a lo largo del corredor vial.

### **Beneficios Sociales** (Gobierno del Distrito Federal)

La construcción de la Línea 12 del metro derivará en diversos beneficios, siendo el más importante por su magnitud el beneficio por ahorro de tiempo de los usuarios.

- Reducirá de 2 horas a 45 minutos el recorrido Tláhuac - Centro.
- Mejorará la calidad de vida al permitir una mayor disponibilidad de tiempo.
- Resolverá la falta de conectividad oriente-poniente en el sur de la Ciudad.
- Mejorará las opciones de conexión de Tláhuac e Iztapalapa con las principales zonas de servicios, empleos, educación, y recreación de la Ciudad.
- Será un transporte seguro, rápido y confiable.
- Accesibilidad Universal para personas con discapacidad y de la tercera edad.
- Las estaciones se ocuparán con servicios públicos de: Internet, sanitarios, espacios culturales y guarderías para el apoyo a madres trabajadoras; elevadores y salvaescaleras para facilitar el acceso a personas con discapacidad automotriz; guía táctil, señales en braille y guías auditivas; señales luminosas para sordomudos; escaleras mecánicas y bandas transportadores.

### **Beneficios Ambientales** (Gobierno del Distrito Federal)

- Reducción de 400,000 toneladas de carbono por año.
- Se respetará el suelo urbano y de conservación.
- Se utilizarán materiales que permitan la recarga de los mantos acuíferos así como pozos de absorción.
- Se solucionarán problemas de inundaciones sobre la avenida Tláhuac entre Lomas Estrella y Periférico Oriente.
- Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, que será utilizada en áreas de conservación.

- Se instalarán celdas solares en cubiertas de los talleres Tláhuac para el suministro de alumbrado en áreas generales y oficinas.
- Se estima un ahorro del 11 % de energía eléctrica con la nueva tecnología.
- Desaliente el uso de vehículos particulares.

**Beneficios Económicos** (Spectron Desarrollo, 8 de Junio de 2009)

- Se considera un ahorro de 800,000 horas hombre por día, que significa un costo aproximado de 133 millones 600 mil pesos.
- Disminuirá el gasto por transporte de \$ 15.50 a \$ 6.00 diarios por usuario.
- Se generarán más de 25,000 fuentes de empleos (temporales, indirectos y permanentes).
- Durante el proceso de la Línea 12 se potenciará una derrama económica global mayor a los 40,000 mil millones de pesos.

Implementación de nuevas tecnologías:

- Por primera vez se empleará un “escudo” para la perforación de túneles con un escudo en suelos blandos que sólo se había utilizado para drenaje profundo.
- Seguridad: Sistema de circuito cerrado de televisión: sistema que permita el monitoreo y grabación de las incidencias en el interior de los carros el cual será compatible con el sistema del Metro e incluirá: Instalación de cámaras en el salón de pasajeros, instalación de monitores en cabinas de conducción, sistema de grabación.
- Se agrupará con tecnología de vanguardia el diseño de pilotaje automático, señalización y mando centralizado.
- Sistema de control total en materia de presupuesto, programas, calidad de obra en el metro de la Ciudad de México.
- Revestimientos en interiores de plástico laminado o moldeado resistentes al fuego, fácil limpieza y protección contra el graffiti.

### Capítulo 3. Descripción del proyecto cruce Periférico

El proyecto del cruce del tramo elevado de la Línea 12 del metro con Periférico Oriente se encuentra ubicado entre Av. Tláhuac y Canal de Garay (Periférico Ote.), correspondiente a la delegación Tláhuac. Comprende los apoyos ubicados en el cad.12+529.173 y cad.12+556.178 (Imagen 1).

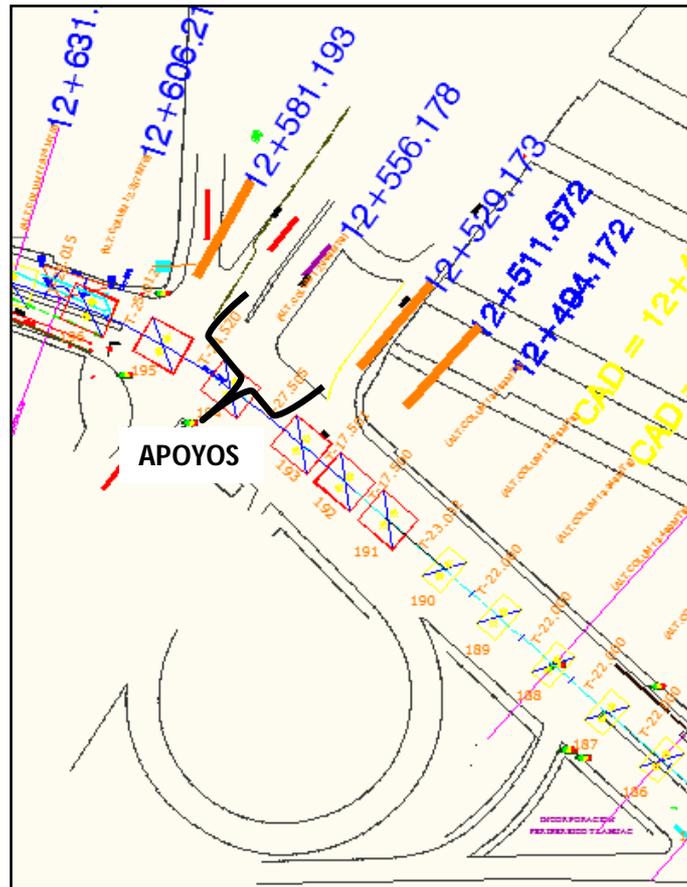


Imagen 1. Ubicación de apoyos correspondientes al cruce

La zona en la cual se encuentra situado este cruce tiene las siguientes características:

- Zona geotécnica: zona III – lacustre.
- Zona sísmica: III b.
- Problemática geotécnica: zona con potentes depósitos de arcilla altamente compresible, ocurren altas deformaciones al aplicar cargas, zona sujeta a hundimiento regional diferencial.
- Hundimiento regional: 10 cm/año.

## Investigación sobre el Cruce y Construcción de la Línea 12 con Periférico Oriente

Los materiales existentes hasta una profundidad de 60 m en esta zona son los siguientes:

Profundidad (m)	Material
0-4	Limo arenoso
4-5	Arcilla media a blanda
5-7	Arcilla muy blanda
7-25	Arcilla muy blanda con lentes de arena
25-26	Arcilla blanda
26-30	Limo arenoso
30-35	Arcilla muy blanda
35-40	Arcilla media
40-42	Arena muy compacta
42-44	Arcilla blanda
44-60	Arcilla media o muy blanda

El cruce del tramo de la Línea 12 del metro con Periférico Oriente, forma parte de un tramo en bocina en curva que abarca desde el cad.12+505.716 al cad.12+676.148, es decir, en donde la zona de vía se ensancha y se separa (Imagen 2). Este tramo en bocina se consideró y diseñó así por proyecto por varios aspectos: complejidad del cruce por la altura, estética y costo; ya que si no se tendrían que haber utilizado columnas mucho más robustas y pesadas.



Imagen 2. Tramo en bocina

La solución considerada y ejecutada para resolver este cruce de acuerdo a las características geotécnicas de la zona y a la complejidad que representa este cruce sobre Periférico Ote., es la siguiente:

### 3.1. Subestructura

#### 3.1.1. Cimentación

La solución de cimentación consiste en cajones de compensación parcial con 12 pilotes de fricción, los cajones son de 12.00 m x 17.50 m en planta, con un área de excavación de 210 m<sup>2</sup>. Los cajones se desplantan a una profundidad de 6.70 m medidos a partir del nivel medio del terreno natural (Figura 6). Los pilotes de fricción son de sección cuadrada de 40 x 40 cm y con una longitud efectiva de 35.0 m medida a partir del nivel máximo de excavación.

La construcción de los cajones de cimentación se realiza cumpliendo con los siguientes requisitos:

- Acero de refuerzo con límite elástico  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .
- Concreto en plantilla  $f_c=100 \text{ kg/cm}^2$ .
- Concreto en cajones de cimentación y en dados  $f_c= 300 \text{ kg/cm}^2$ .
- Cemento tipo CCP.
- Tamaño máximo de agregado grueso  $\frac{3}{4}$ ".
- El recubrimiento en elementos estructurales en contacto con el suelo es de 5.0 cm, en todos los demás elementos el recubrimiento es de 3.5 cm.
- Varillas mayores al #8 se realiza bulbo o se utilizan conectores de varilla.

Los cajones de cimentación están conformados por los siguientes elementos:

#### **Losa de fondo** (Figura 7 y Figura 8)

Características:

- Espesor: 40 cm.
- Acero longitudinal: #6@20.
- Acero transversal: #6@20.

#### **Muros perimetrales** (Figura 7 y Figura 8)

Características:

- Altura: 475 cm.
- Espesor: 30 cm.
- Acero longitudinal: #5@15.
- Acero transversal: #5@20.

#### **Contratabes (trabes diagonales)** (Figura 9)

Características:

- Altura: 550 cm.
- Espesor: 35 cm.

- Acero longitudinal: #5@10 y 14#6 en cada contratrabe.
- Acero transversal: #5@12.5.

**Dados de columnas (dos dados para columna doble metálica)** (Figura 10 y Figura 11)

Características:

- Sección: 230 x 230 cm.
- Altura: 670 cm.
- Acero principal: 96#12 (por ser doble dado 192#12).
- Acero principal complementario: 52#12.
- Acero secundario: E#4@20 y E#4 a cada 20.
- Anclas para conexión con columnas metálicas: 124 anclas varilla corrugada con extremo roscado #12 (Figura 12).

**Losa tapa** (Figura 7 y Figura 8)

Características:

- Espesor: 35 cm.
- Acero longitudinal: #5@14.
- Acero transversal: #5@14.

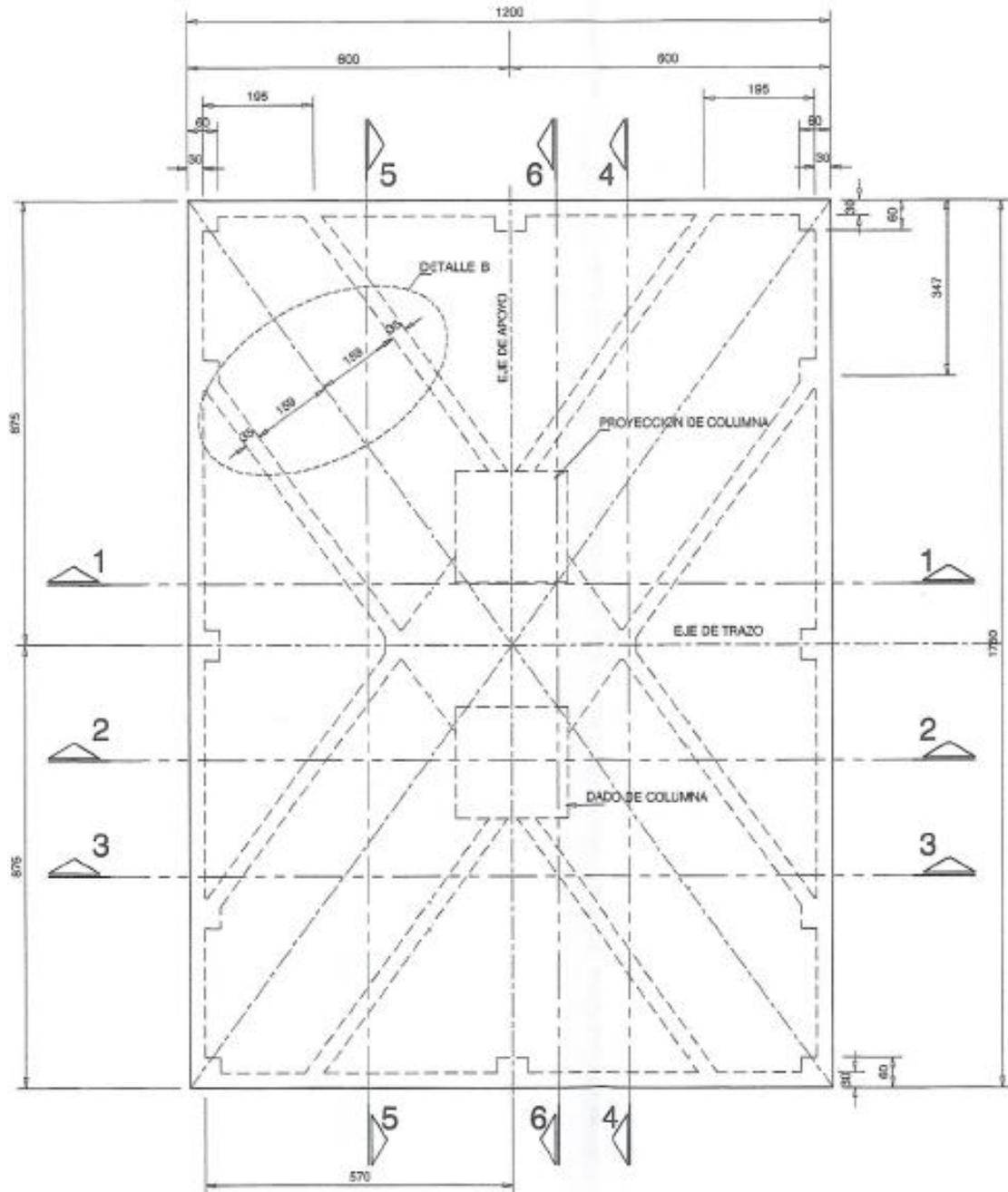


Figura 6. Planta cajón de cimentación

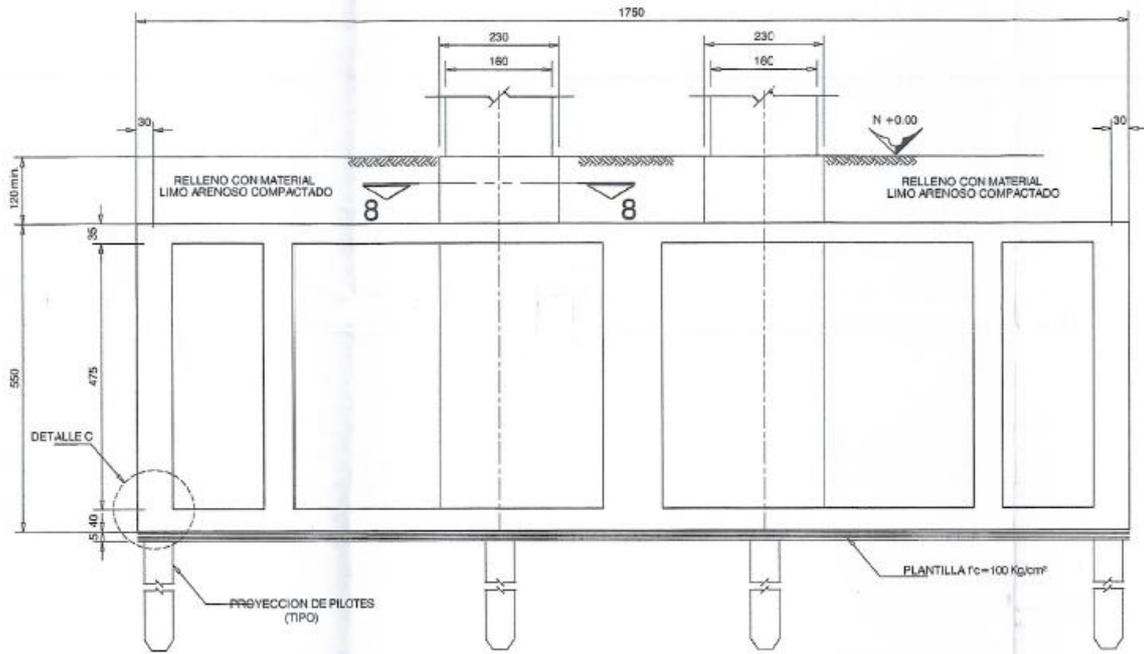


Figura 7. Corte longitudinal de losa de fondo, muros y losa tapa

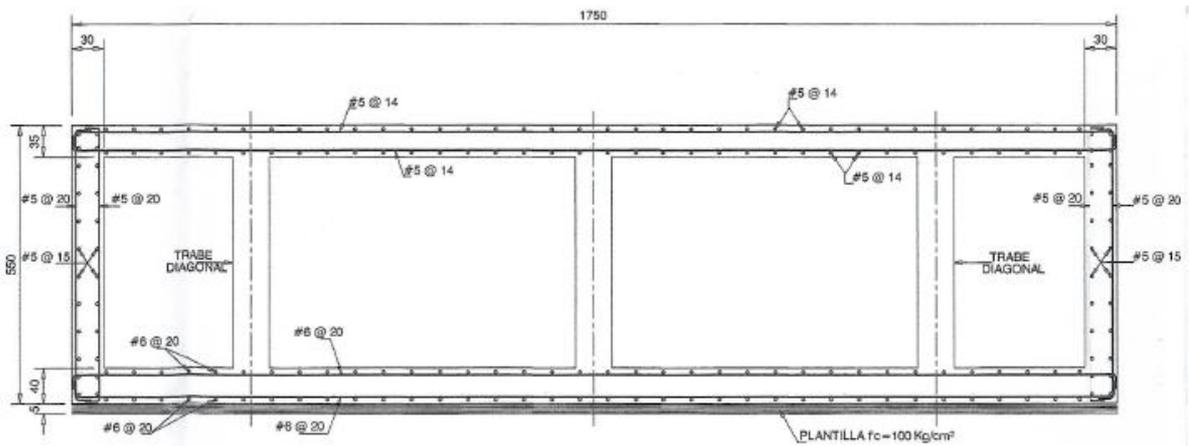


Figura 8. Corte longitudinal de armado de losa de fondo, muros y losa tapa



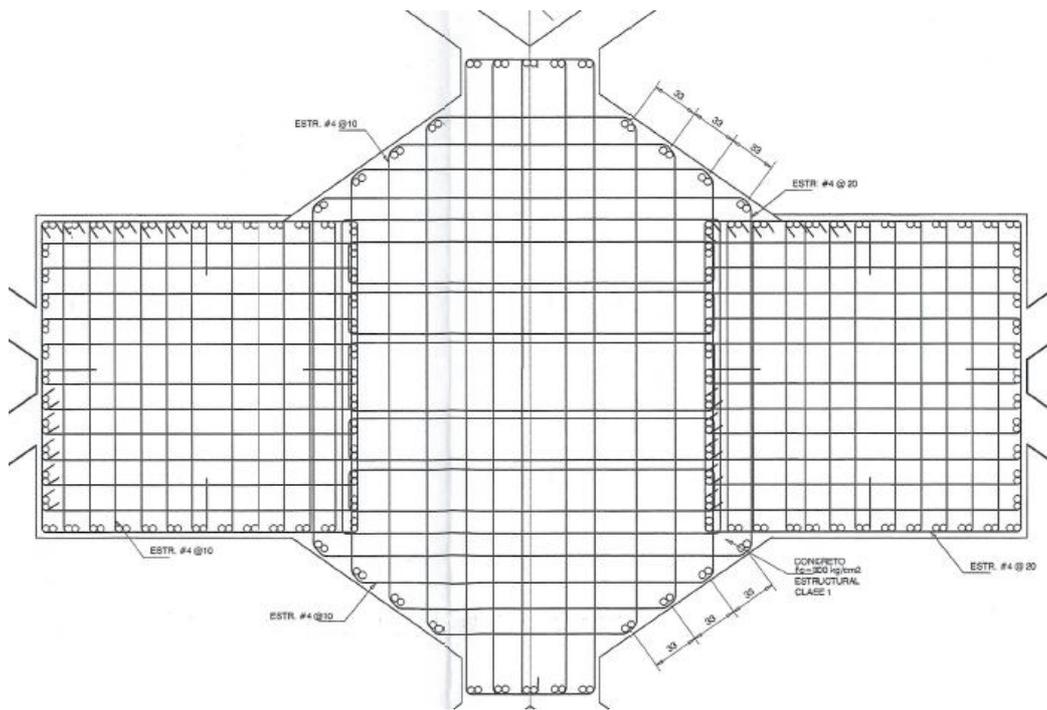


Figura 11. Armado de dados para columnas metálicas

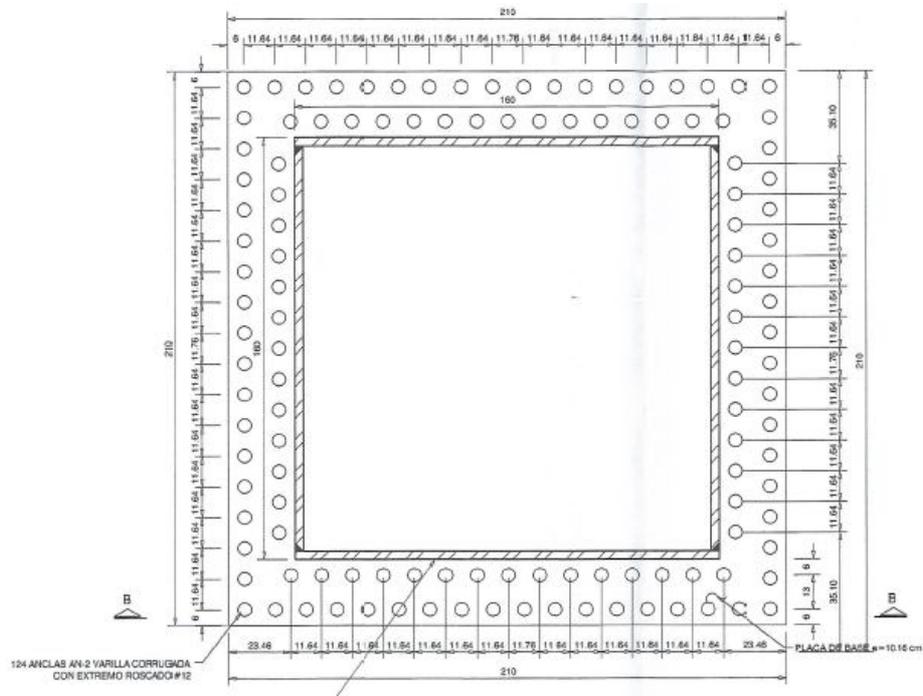


Figura 12. Anclas para conexión con columnas metálicas

### 3.1.2. Columnas y cabezales metálicos

La solución consiste en columnas metálicas dobles de aproximadamente 30 ton. de peso, las cuales se conectan a la cimentación a través de anclas con rosca alargada del #12 y tuercas hexagonales tipo pesado. Las columnas se apoyan sobre una placa base de acero, la cual es previamente nivelada con tuercas y posteriormente recubierta con grout (Figura 13).

Las características geométricas de las columnas son: sección cuadrada de 180 x 180 cm, una altura de las columnas ubicadas en el cad.12+529.173 de 13.014 m y una altura de las columnas ubicadas en el cad.12+556.178 de 12.968 m.

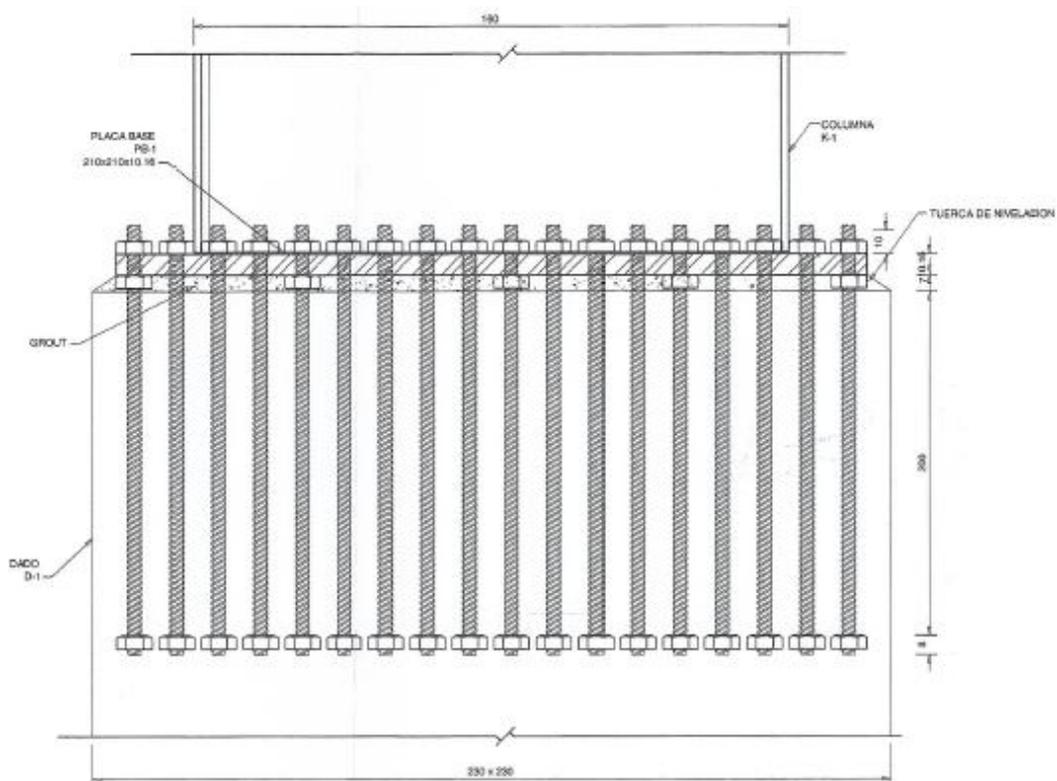


Figura 13. Corte de columna y conexión con cimentación

Los cabezales son metálicos de sección rectangular (Figura 14) de 150 x 160 cm y de 16.76 m de longitud, los cuales van soldados a las columnas metálicas por medio de soldadura con arco eléctrico (Figura 16). En su parte superior llevan soldados unos bancos de placa, sobre los cuales se colocan placas de neopreno que es donde se apoyan las traveses metálicas (Figura 15). Asimismo llevan soldados apoyos móviles y apoyos fijos en los cabezales que conforman el claro, para el empotramiento de la trabe metálica con éstos.

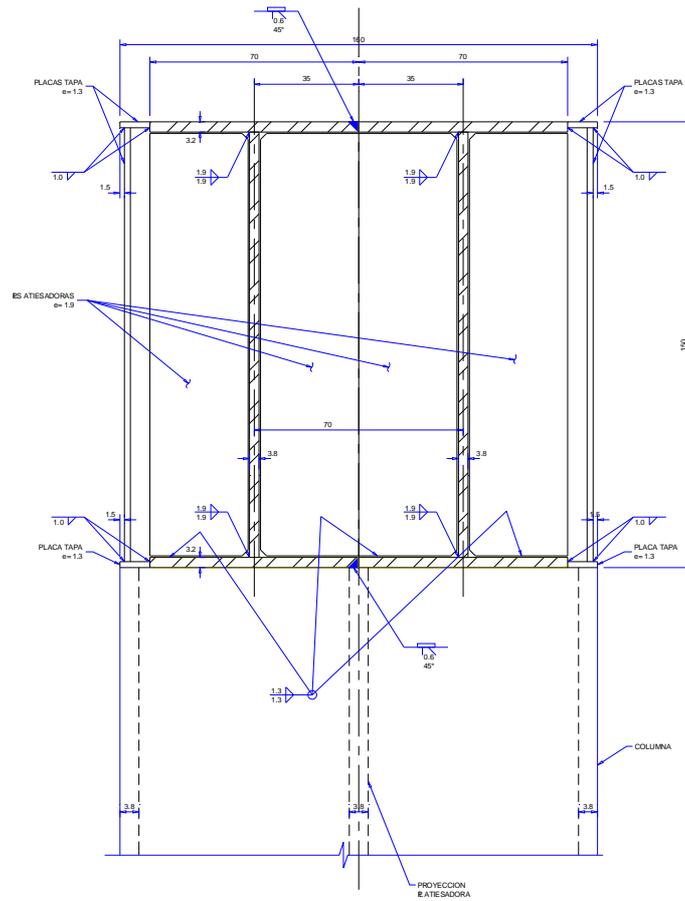


Figura 14. Sección de cabezal metálico

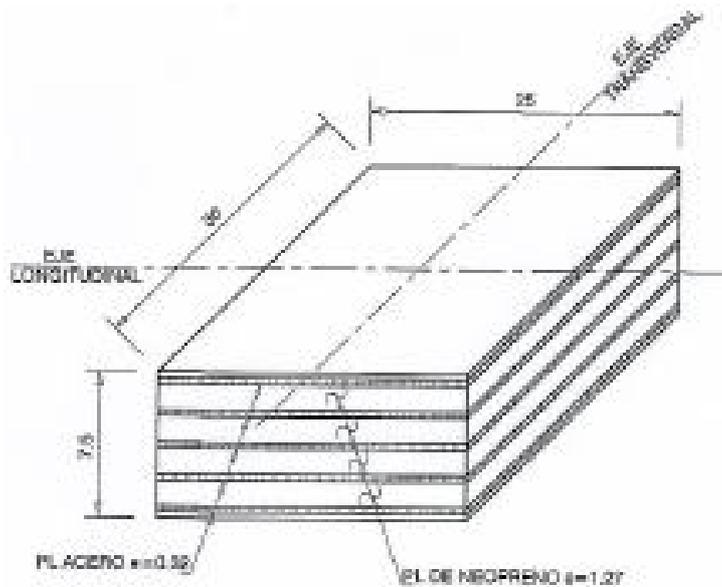


Figura 15. Apoyos de neopreno

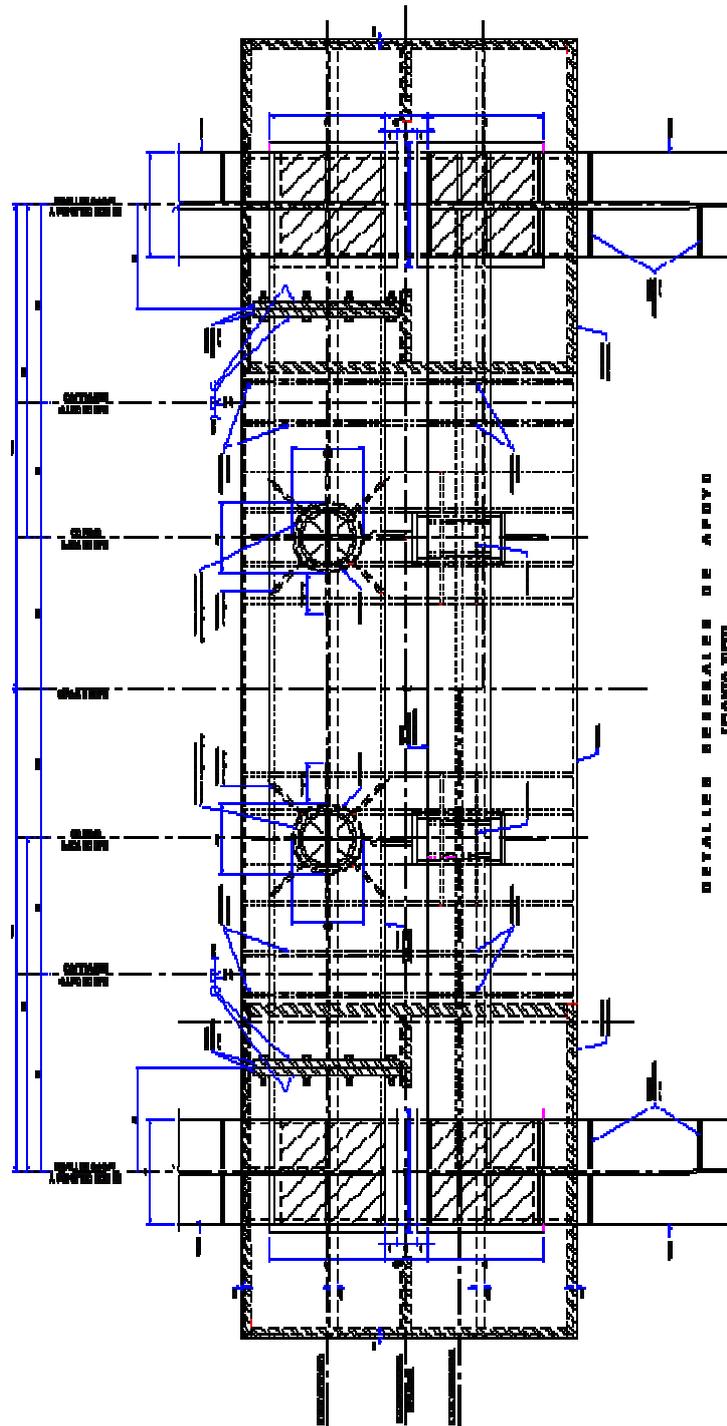


Figura 16. Planta cabezal metálico

## 3.2. Superestructura

### 3.2.1. Trabes metálicas

La solución consiste en traveses metálicos de sección IPR de 27.305 m de longitud y de 1.50 m de peralte, con una contraflecha de 3.0 cm (Figura 17). Son traveses que al conformarse su ancho es menor que la gran mayoría de los del tramo elevado, debido a que este cruce corresponde a un tramo en bocina en donde la vía se ensancha separándose los sentidos de la vía (Imagen 3).



Imagen 3. Tramo en bocina

Las traveses están conformadas de la siguiente manera:

- Traveses T-6 en el centro del claro y por traveses T-5 en sus extremos.
  - Traveses T-5: patines de  $e= 2.54$  cm y alma de  $e= 1.3$  cm (Figura 18).
  - Traveses T-6: patines de  $e= 3.81$  cm y alma de  $e= 1.3$  cm (Figura 19).
- Atiesador longitudinal con espesor de 1.0 cm.
- Placa atiesadora con espesor de 1.3 cm a cada 2.50 m.
- Contraventeo a cada 2.50 m (Figura 20).
- Muñones para traveses transversales con tope sísmico para apoyo fijo (atornillada).
- Muñones para traveses transversales con tope sísmico para apoyo móvil (soldada).
- Trabe transversal con tope sísmico para apoyo fijo (atornillada).
- Trabe transversal con tope sísmico para apoyo móvil (soldada).

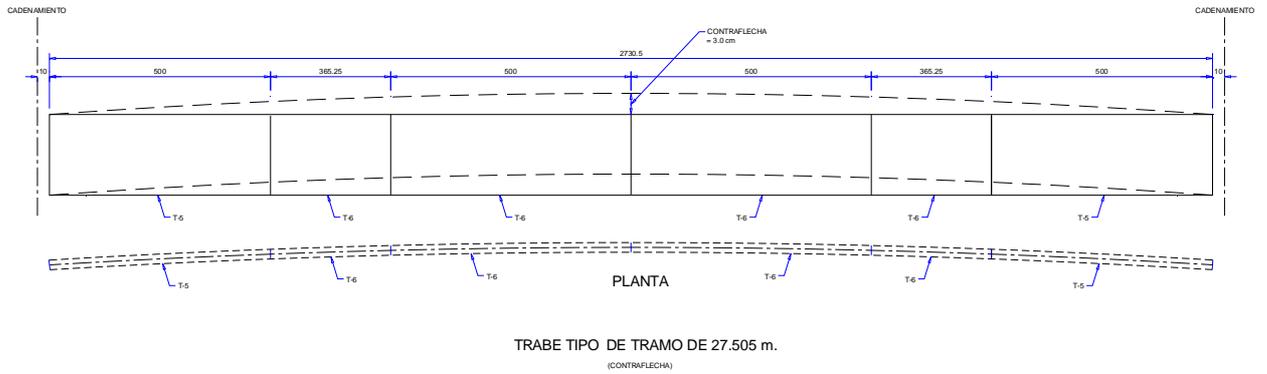


Figura 17. Trabe metálica

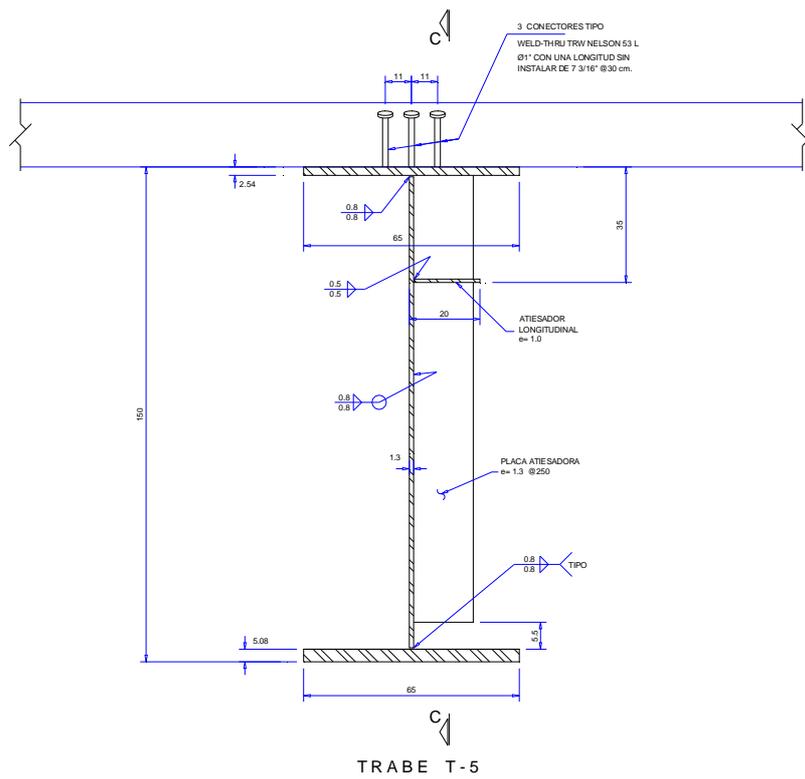


Figura 18. Trabe T-5

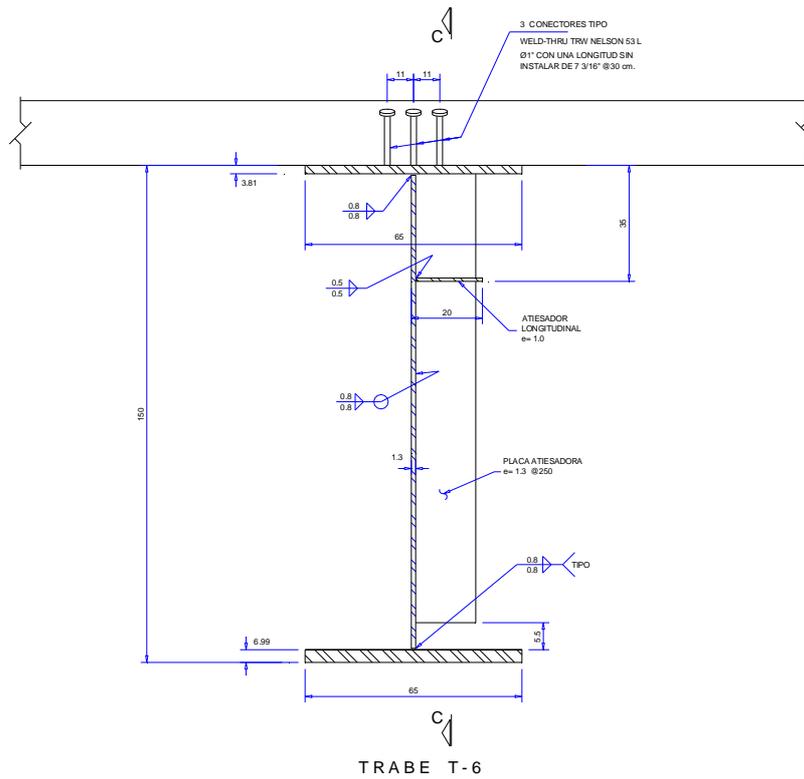


Figura 19. Trabe T-6

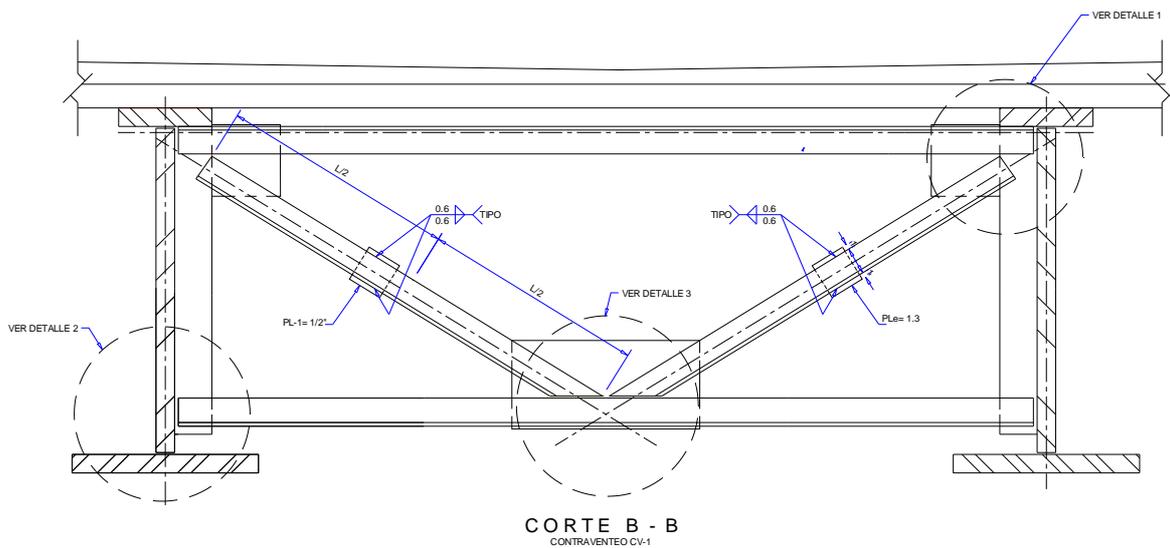


Figura 20. Contraventeo

### 3.2.2. Viaducto (zona de bocina en curva)

La solución para la zona de bocina en curva (cad. 12+505.716 al cad. 12+676.148), de la cual forma parte el cruce del viaducto elevado sobre Periférico Ote., es la siguiente:

#### **Tableta prefabricada** (Figura 21)

Características:

- Espesor: 15 cm.
- Superficie rugosa de 6 mm.
- Concreto  $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ .
- Acero de refuerzo  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .
- Huecos para conectores tipo Nelson  $\varnothing 10 \text{ X}30 @ 30$ .
- Paquetes de 2 varillas (cable tipo cascabel) galvanizado serie G-37 con alma de acero de  $\varnothing 1.59$  con resistencia a la ruptura por cada cable de 16.2 t para izado de tableta.
- Varillas #4@18 que se dejan en la tableta precolada para traslape con armado de murete.
- Varillas #3@60 en cantos longitudinales (lleve de cortante).
- Acero longitudinal lecho inferior: varillas #6@15.
- Acero transversal lecho inferior: varillas #3@12.
- Acero longitudinal lecho superior: varillas #4 @15.
- Acero transversal lecho superior: varillas #3@30.
- Conectores tipo Weld –Thru Nelson 53 L.

#### **Zona de vía**

La zona de vía está conformada por:

**Losa de compresión** con malla equipotencial colada en sitio en dos etapas, en la primera etapa se cuelan los primeros 10 cm y en la segunda etapa los 8 cm restantes (Figura 22).

Características:

- Espesor: 16 cm.
- Concreto  $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ .
- Acero de refuerzo  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .
- Pendiente = 2%.
- Acero longitudinal: varillas #5@15.
- Acero transversal: varillas #3@15.
- Malla equipotencial con cable de cobre desnudo.

**Muro central** (Figura 23)

Características:

- Espesor: 15 cm.
- $h = 2.20$  m.
- Recubrimiento 2.5 cm.
- Acero transversal: E#4@20.
- Acero longitudinal: varillas #3@20.

**Muretes** (Figura 24)

Características:

- Espesor: 15 cm.
- $h = 75$  cm.
- Recubrimiento 2.5 cm.
- Acero transversal: E#4@18.
- Acero transversal: E#3@30.
- Acero longitudinal: varillas #3@20.
- Acero longitudinal: varillas #3@30.

**Balasto**

Características:

- Grava de 1".
- Espesor de capa: 55.40 cm.

**Durmientes**

Características:

- Concreto.
- $L = 2.40$  m.

**Rieles**

Características:

- Acero.
- $L = 2.50$  m.

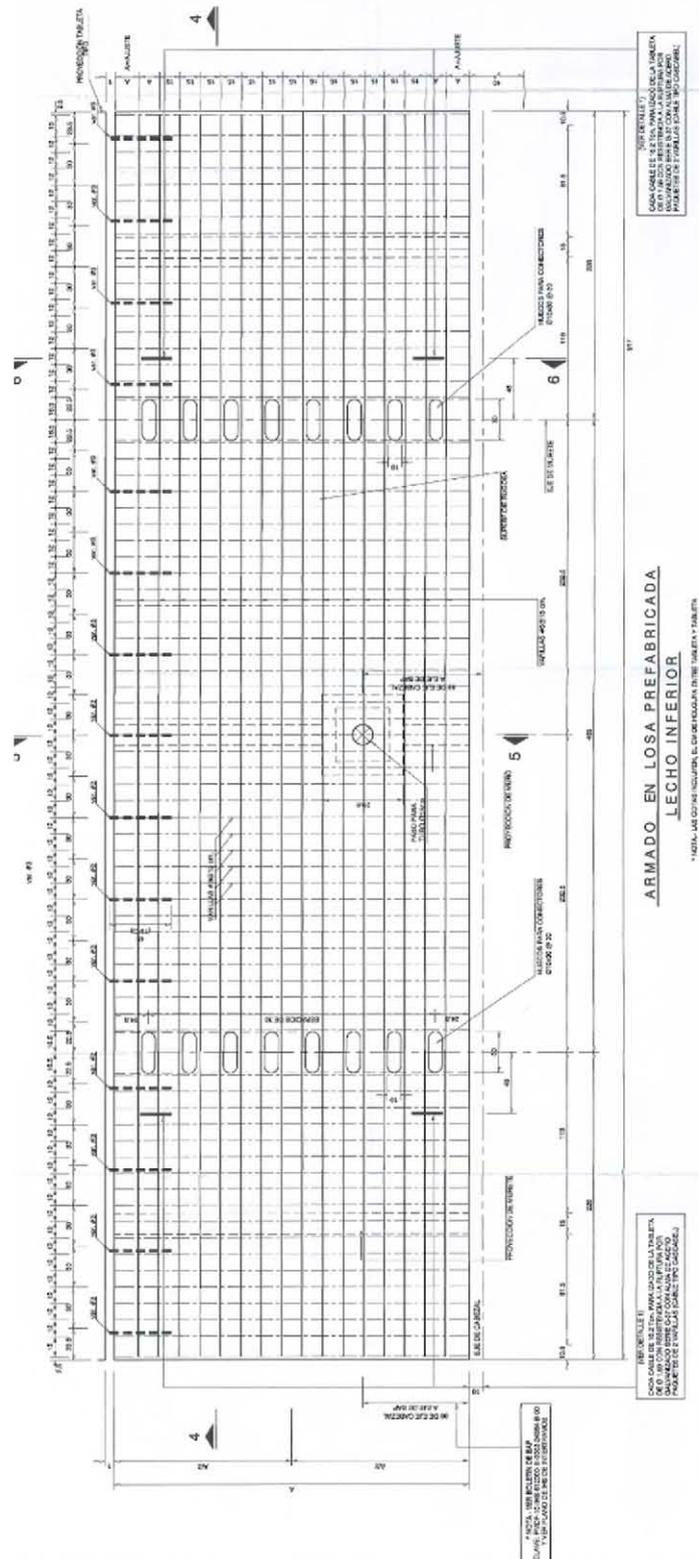


Figura 21. Planta tableta prefabricada



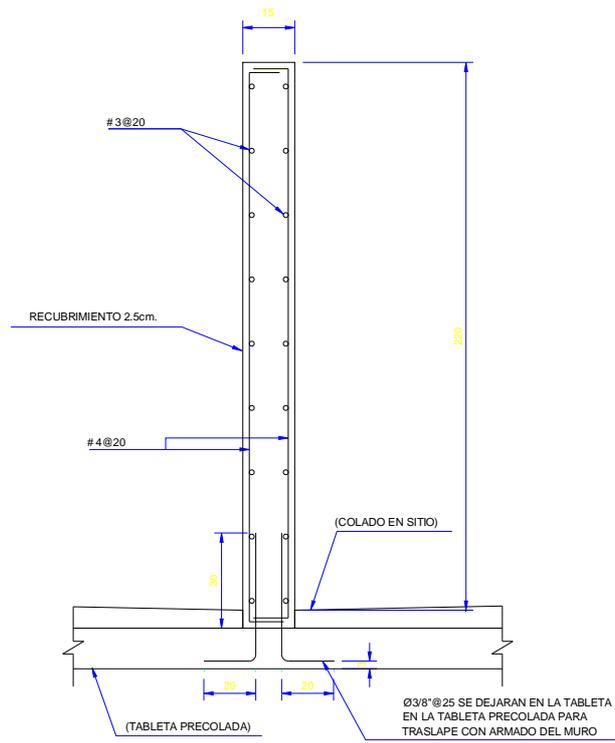


Figura 23. Detalle muro central

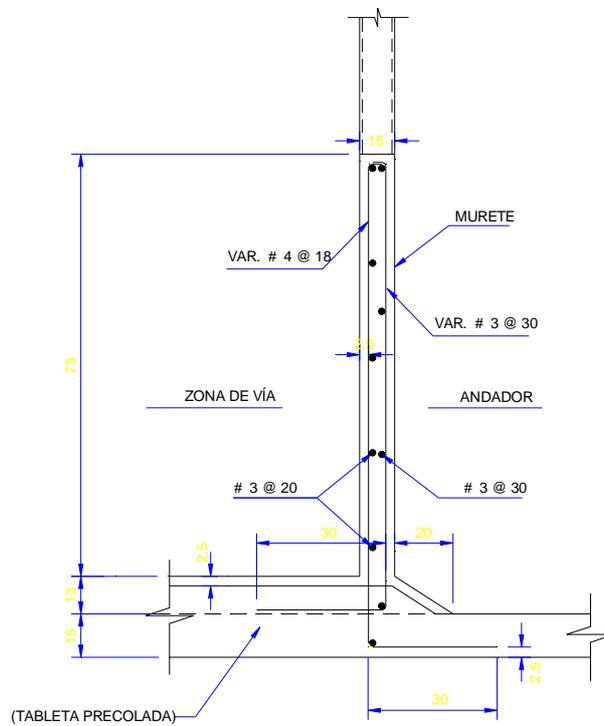


Figura 24. Detalle Murete

### **Trincheras** (Figura 25)

#### ***Firme de concreto ligero***

Características:

- Espesor: 8 cm.
- Relleno de poliestireno.
- Malla electrosoldada.
- Concreto  $f'c= 200 \text{ kg/cm}^2$ .

#### ***Estructura metálica*** (Figura 26)

Características:

- Bastidores verticales: Perfiles LI 2 1/2 " x 3/16".
- Bastidores horizontales: Perfiles LI 2 1/2 " x 3/16".
- Calza tipo "A" para trinchera: IPR acero de 4" x 3/8" de alma, dimensiones de 20 x 20 cm; placa de acero de 1/2", dimensiones de 20 x altura variable (Figura 27).
- Calza tipo "B" para trinchera: placa de acero de 1/2", dimensiones de 20 x 20 cm; placa de acero de 1/2", dimensiones de 20 x altura variable (Figura 28).
- Acabado: Multipanel.

#### ***Andador de trincheras***

Características:

- Tabletas de policoncreto: resinas de concreto polimérico reforzado con fibra de vidrio y con una resistencia de al centro de 850 kg al centro de la tableta (Figura 29).
- Soporte de tabletas: Perfil IPS A-36 de 4" de 7.7 lb/pie (Figura 30 y Figura 31).

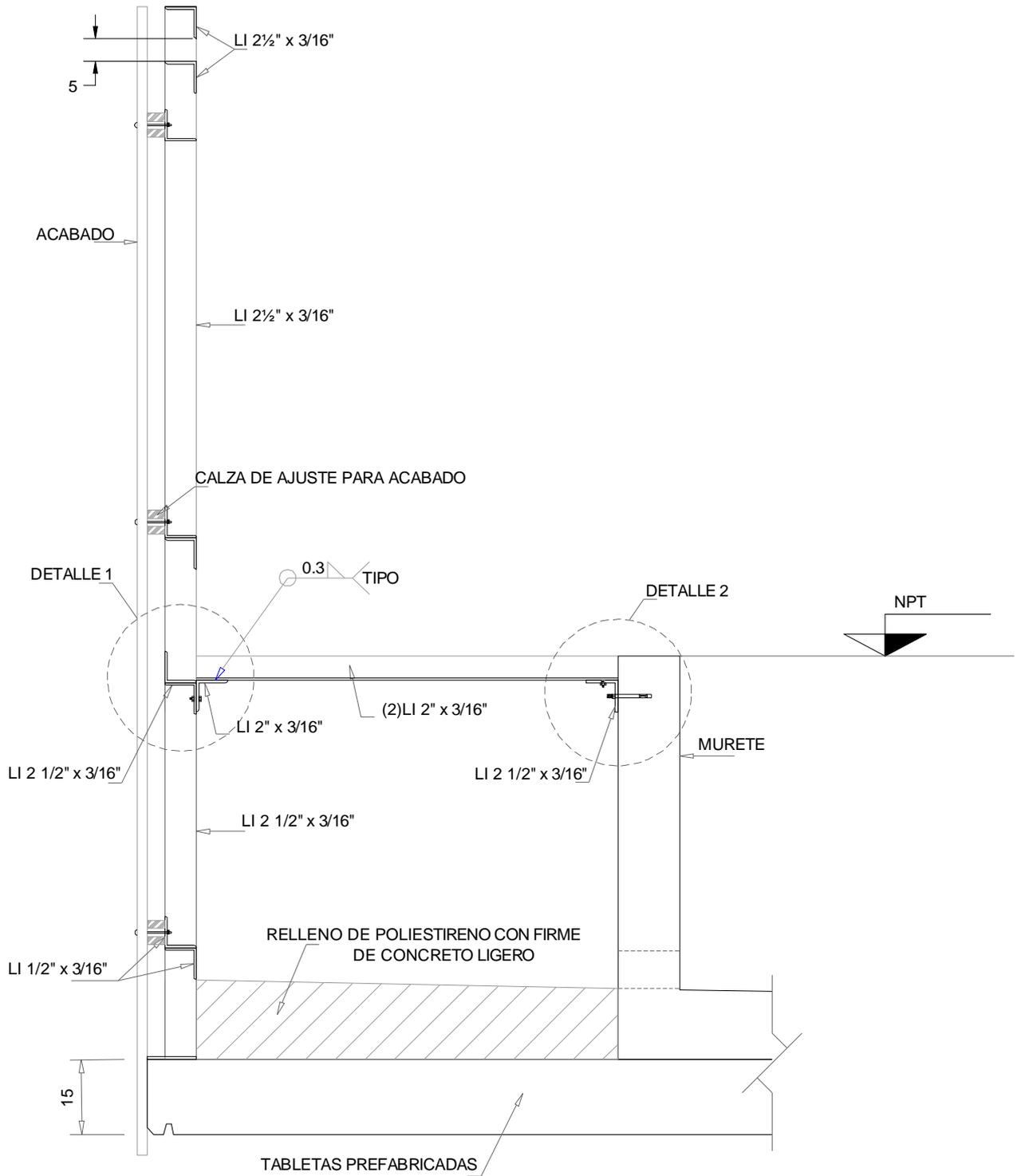


Figura 25. Detalle de trinchera

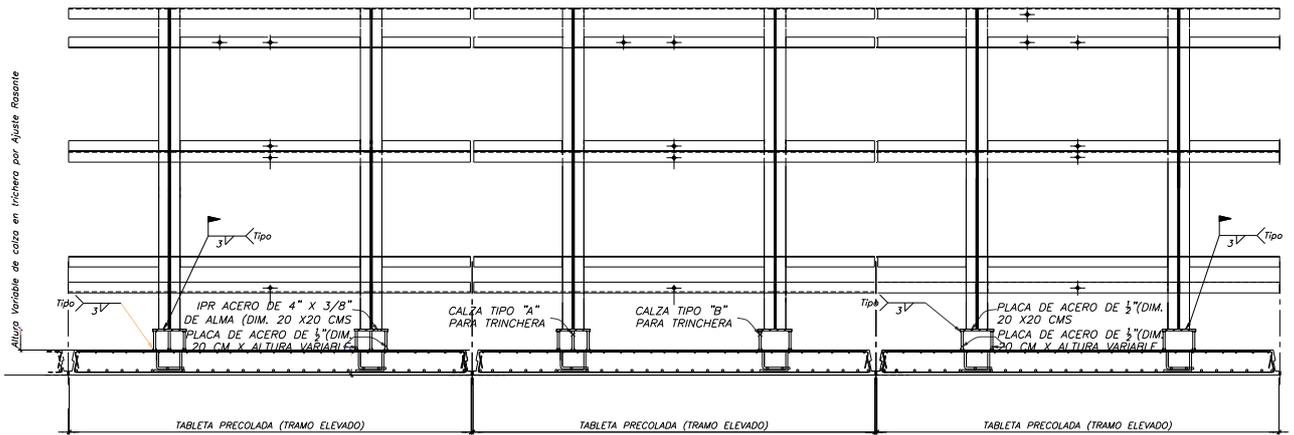


Figura 26. Estructura metálica

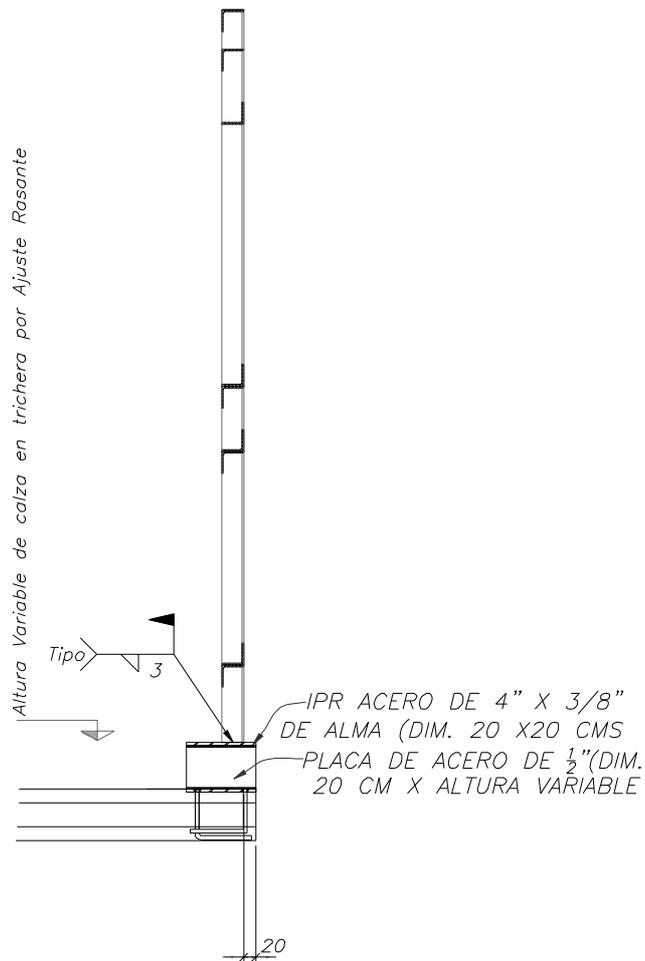


Figura 27. Calza tipo "A" para trinchera

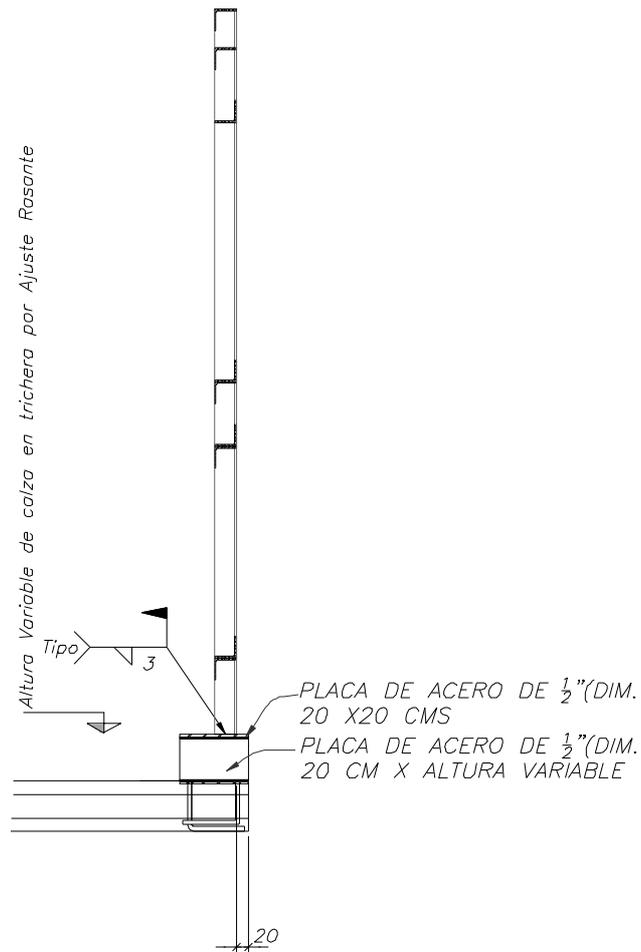


Figura 28. Calza tipo "B" para trinchera

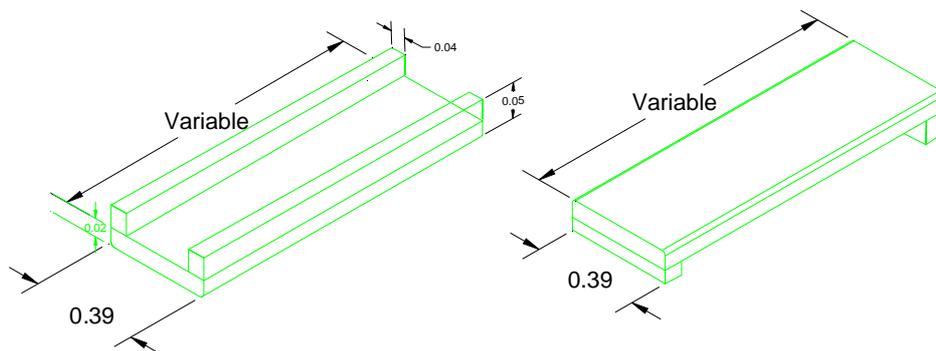


Figura 29. Tableta de policoncreto

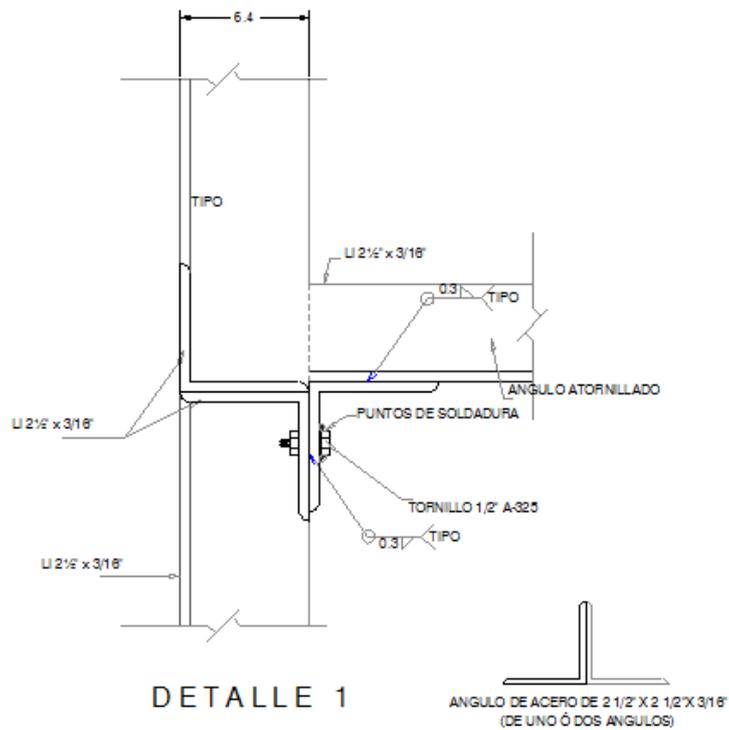


Figura 30. Detalle fijación de soporte para tabletas de policoncreto con estructura metálica

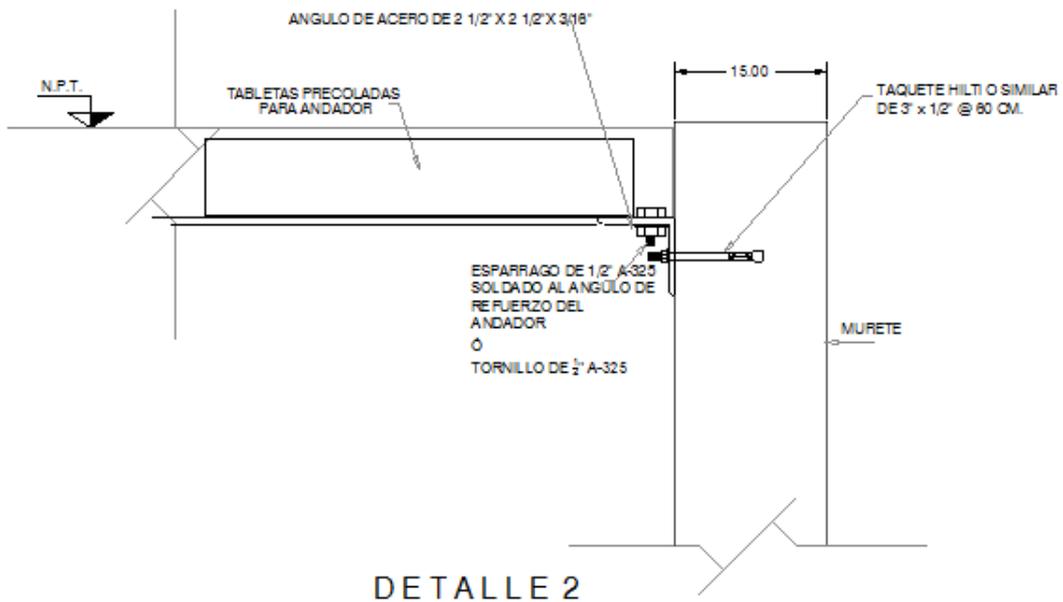


Figura 31. Detalle fijación de soporte para tabletas de policoncreto con murete

### Postes para catenarias

Como el cruce corresponde a un tramo en bocina en curva, los postes para catenarias se colocan por la parte exterior de la vía, estos van apoyados sobre bases metálicas, las cuales van soldadas a traveses metálicas soldadas al patín superior y al alma de las traveses principales (Figura 32).

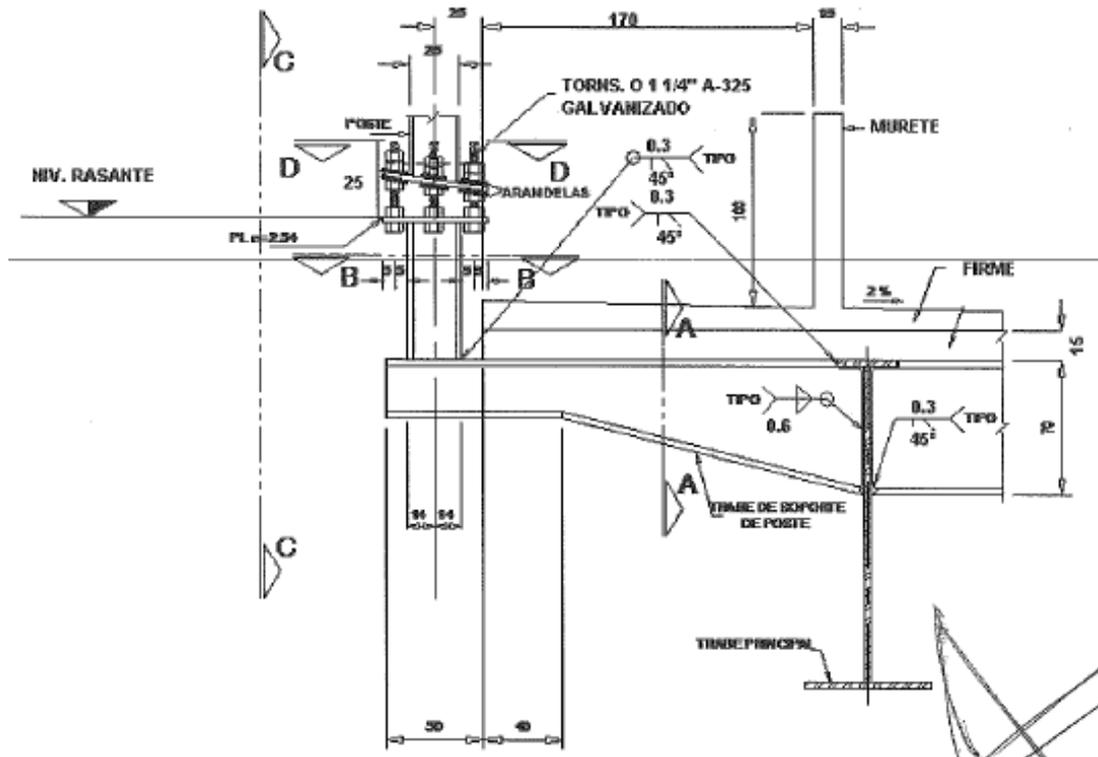


Figura 32. Detalle apoyo de poste de catenaria

## Capítulo 4. Procedimiento constructivo

### 4.1. Subestructura

#### 4.1.1. Hincado de pilotes de fricción

Previo a los trabajos de hincado de pilotes de fricción se realiza un sondeo de verificación, éste es del tipo cono eléctrico (Imagen 4), hasta una profundidad de 5.00 m por debajo del nivel de desplante del pilote. El propósito del sondeo será verificar la presencia de capas o lentes duros bajo el nivel de desplante de los pilotes.



Imagen 4. Sondeo con cono eléctrico

#### Etapa I: Trazo y nivelación

Se realiza inicialmente el levantamiento topográfico en campo para definir el trazo y la nivelación del punto de hincado, verificándose la concordancia con los planos del proyecto geométrico, arquitectónico y estructural. La tolerancia de la posición de hincado no debe ser mayor de 4% de su diámetro. Posteriormente se realiza la perforación previa verificando que la verticalidad esté dentro del 2% de su longitud. El diámetro de la perforación deberá de ser de 35 cm.

#### Etapa II: Perforación previa

La presencia de lentes resistentes en los primeros metros de la estratigrafía, obliga a realizar la perforación previa al menos hasta 18 m de profundidad en zonas de pilotes de más de 24 m de longitud y de 10 m para los de menor longitud, esto también coadyuva a evitar efectos de incremento de presión de poro en el subsuelo con las consecuentes afectaciones a estructuras cercanas, y reducir el efecto de alteración por desplazamiento del suelo en el que se apoyan los pilotes a lo largo de su fuste. Esta disposición se realiza aun cuando no se encuentran lentes resistentes bajo la cota correspondiente a la punta de los pilotes.

La perforación se realiza con una broca tipo helicoidal que permite romper la estructura del suelo para originar el remoldeo del material, este procedimiento sirve principalmente para atravesar los lentes de arena que se puedan presentar durante el recorrido del pilote (Imagen 5). En el caso de los estratos de arena o suelo cementado, que por su espesor pueden dificultar el hincado del pilote, se amplía la perforación a 45 cm. La perforación previa ayuda por otro lado, como guía para el hincado, por lo que la perforación debe respetar las tolerancias indicadas para garantizar la verticalidad.

El proceso de perforación y de hincado de pilotes es continuo, con el fin de prevenir caídos de las paredes de la perforación y/o adherencia excesiva entre el pilote y suelo después de eventuales suspensiones del proceso.



Imagen 5. Perforación previa con broca helicoidal

### Etapa III: Martillo y fuerza de hincado

El hincado de los pilotes se hace por percusión de acuerdo a la energía de golpe requerida como se indica a continuación (Tabla 10).

Tabla 10. Fuerza de hincado

Longitud del pilote (m)	Tipo de martillo	Peso del pistón (kg)	Energía por golpe (kg-m)
12	DELMAG D22-13	2200	6700-3350
24	DELMAG D36-13	3600	11500-5750
35	DELMAG D65-13	6200	22320-11160

Es necesario respetar esta magnitud de energía de impacto para evitar que los pilotes sufran daños por excesos de golpes en la cabeza o en su longitud por exceso de peso del pistón.

#### **Etapas IV: Manejo de pilotes**

Los tramos de pilotes se transportan cuando tienen el 80% de la resistencia de proyecto en el concreto. Los puntos de izado están localizados con respecto a los extremos del segmento del pilote a un 25% de la longitud.

#### **Etapas V: Hincado de pilotes**

La secuencia de hincado de pilotes, después del despegue y transporte de los mismos de la cama de colado, es la siguiente:

- Colocar marcas a una separación máxima de 1.0 m y a partir del segundo tramo del pilote con el fin de determinar con facilidad el número de golpes necesarios para cada metro de hincado.
- Colocarlo en el punto correcto de su ubicación o en la perforación previa, de acuerdo a los planos constructivos.
- Acoplar el gorro del martillo golpeador a la cabeza del pilote.
- Colocar en posición perfectamente vertical tanto el pilote como la guía del martillo, respetando las tolerancias en la verticalidad, corrigiendo la posición de la grúa hasta lograrlo (Imagen 6).
- Realizar el hincado del primer tramo dejando 1.0 m del segmento del pilote fuera del terreno natural para realizar la unión con el siguiente tramo del pilote, dicha unión se realiza con soldadura a tope (Imagen 7).
- Continuar con el hincado de todos los tramos usando seguidores para dejar la cabeza a nivel del proyecto, esto debido que se realiza el hincado previamente a la excavación de la cimentación.



Imagen 6. Izaje, posicionamiento y lanzamiento del pilote de fricción

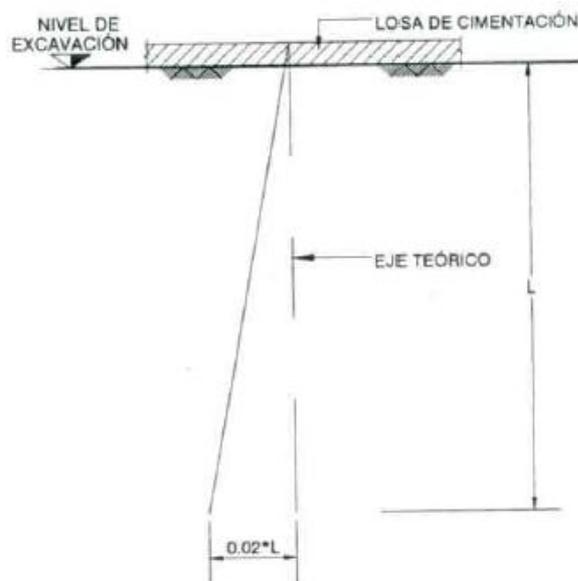


Imagen 7. Unión de tramos de pilote de fricción con soldadura a tope

El hincado del pilote puede efectuarse 14 días después de colados si se utilizó concreto de resistencia rápida o 28 días si se utiliza concreto normal, se usa un empaque amortiguante en el extremo de los pilotes con el objeto de garantizar que la cabeza de los pilotes no se destruya durante el hincado. Iniciado el proceso de hincado del pilote, no debe existir periodos de receso mayores de 90 min.

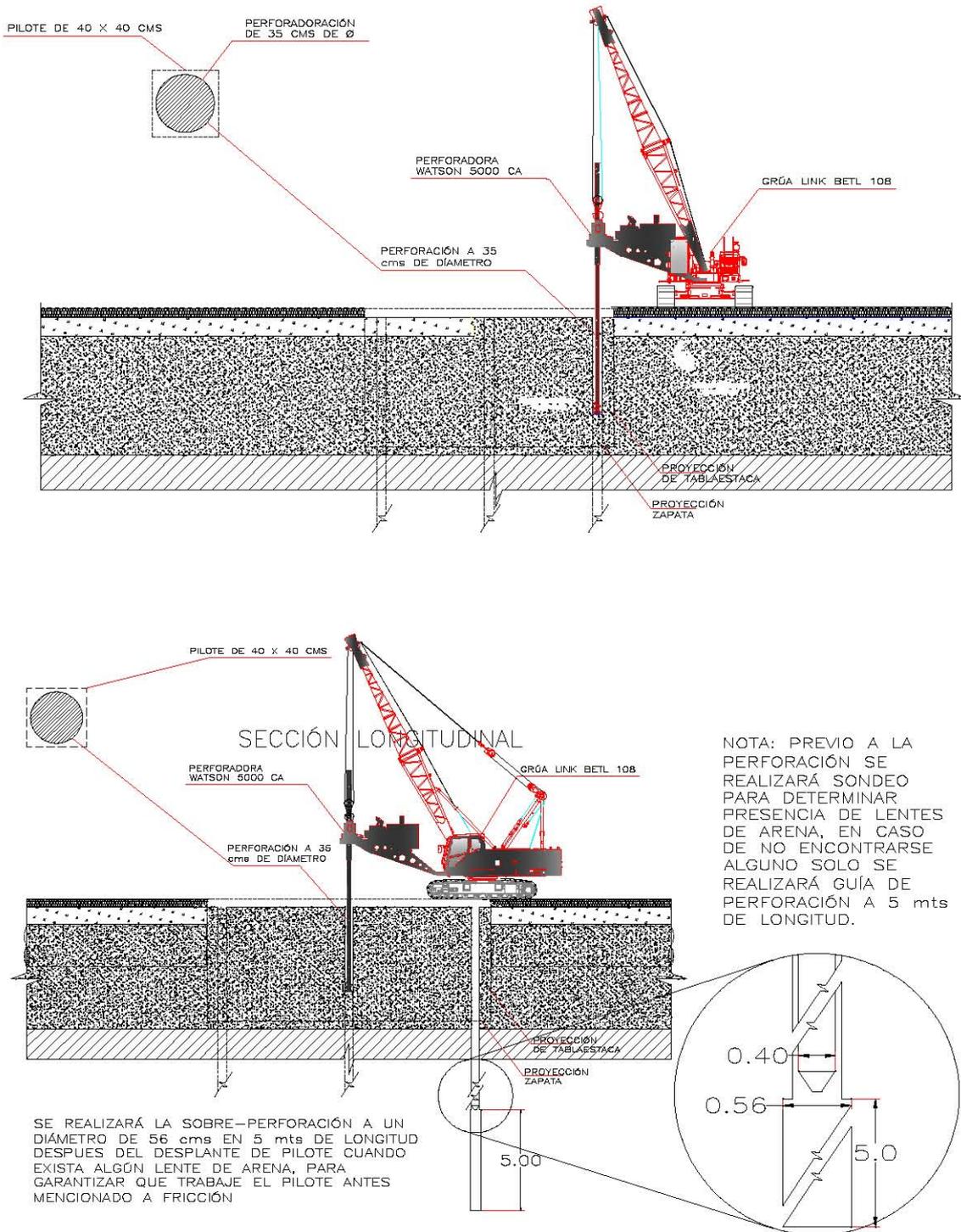
### ***Tolerancias***

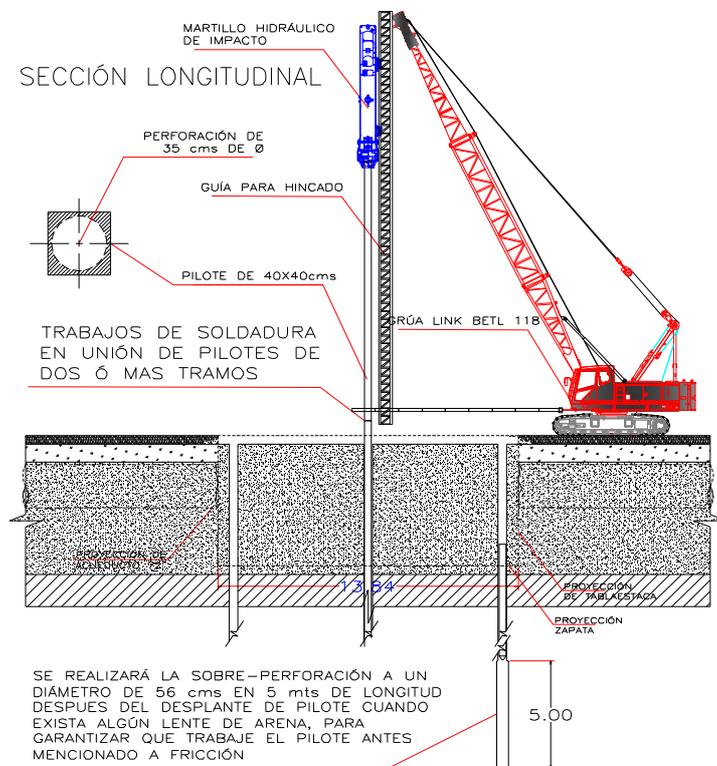
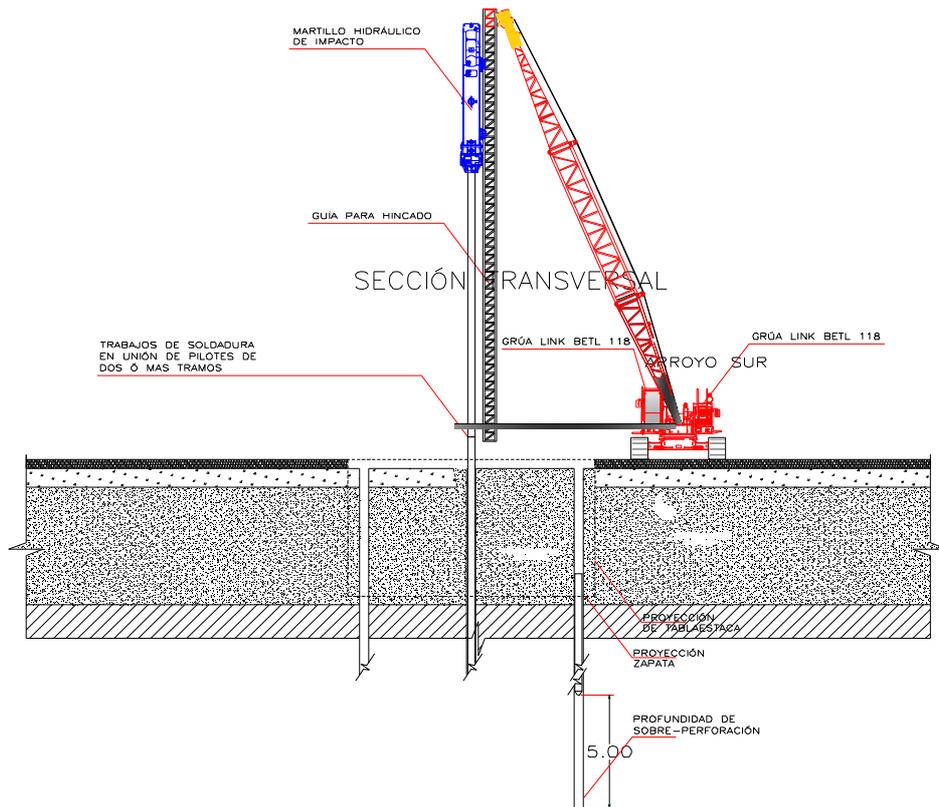
Se debe llevar un control durante las etapas de perforación e hincado de los pilotes, para que los desvíos de la verticalidad no rebasen el 2% de su longitud total.



Durante el manejo e hincado se requiere de una supervisión con el objeto de garantizar una buena ejecución. Para evitar daños a la cabeza del pilote durante su hincado, se colocará una sufridera de madera.

**Secuencia de hincado de pilotes de fricción**





#### 4.1.2. Excavación con Muro Berlín

Se utiliza un sistema de retención denominado Muro Berlín, considerando un ademado para retención del terreno a base de viguetas verticales hincadas en el terreno natural con una separación de 1.40 m y tablonces de madera de 50 mm (2") de espesor, que reciben el talud vertical de la excavación. Las viguetas tienen una sección tipo IR de 10" x 2.39 kg/m y una longitud total aproximada de 8.0 m, las cuales se empotran aproximadamente por debajo del nivel máximo de excavación.

#### Excavación de la primera etapa a una profundidad de 2.50 m. con 80 cm de sobre excavación perimetral a las dimensiones de la zapata de proyecto (Figura 33)

En una primera etapa se excava a una profundidad de 2.50 m aproximadamente, abarcando un área equivalente a la de proyecto de hasta 80 cm de sobre ancho adicional de cada lado de la zapata de proyecto.

Se cuida que durante los trabajos de excavación y construcción de los cajones se controle la cercanía de la maquinaria a una distancia no menor a 2.00 m de la excavación.

Durante los trabajos de excavación se evitan en lo posible golpes del cucharón sobre las paredes de la excavación o sobre el sistema de ademe, al fin de que no se generen zonas inestables.

El producto de la excavación se retira inmediatamente fuera de la zona de construcción, al fin de no generar sobrecargas.

Dependiendo de la existencia del nivel freático en el cajón, se implementan cárcamos de bombeo de achique dentro de la misma área de excavación, para desalojar el agua producto de infiltraciones de las paredes.

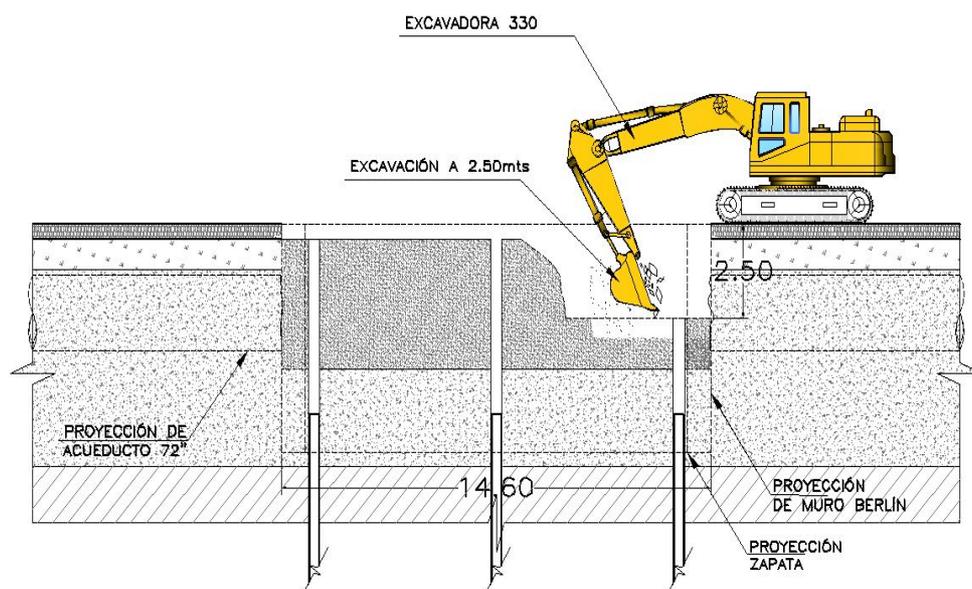


Figura 33. Excavación primera etapa

### Hincado de perfiles verticales IR de 10" x 32.9 kg/m (Figura 34)

Una vez alcanzada la profundidad de la primera etapa de excavación y de manera inmediata, se procede al hincado de las viguetas IR 10" x 32.9 kg/m de hasta 8.0 metros de longitud, separadas a cada 1.85 m, en el perímetro de lo que será el cajón de cimentación.

Las viguetas IR se empotran aproximadamente 2.30 m por debajo del nivel de desplante de la zapata.

El hincado de las viguetas se efectúa mediante equipo mecánico, cuidando la verticalidad de las mismas, manteniéndolas a plomo. Así mismo para facilitar su hincado están provistas en su extremo inferior de un acabado en punta.

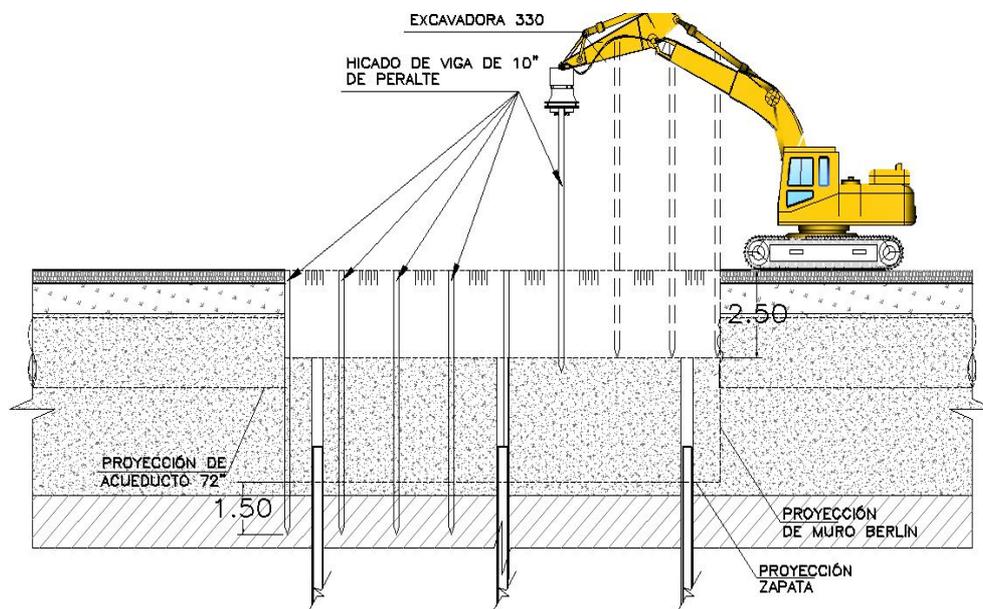


Figura 34. Hincado de viguetas

### Colocación del primer nivel de troqueles

Adicionalmente, al llegar a la excavación a la profundidad de 2.50 m se coloca la viga madrina IR 12" x 59.8 kg/m y los troqueles de tubo de acero de 10"Ø ced.40 (sistema de apuntalamiento) a la profundidad de 1.10 m, para dar el soporte o apoyo provisional a las vigas madrina en sentido horizontal, se sueldan entre la vigueta vertical y la viga madrina cartabones de acero 12 x 12 cm x (1/2") de espesor.

Posteriormente se colocan las vigas madrina sobre los cartabones, y se aplica una línea de soldadura en la parte superior de contacto entre maderas y viguetas verticales.

A continuación se colocan los troqueles de tubo de acero de 10"Ø ced.40, los cuales se fijan mediante puntos de soldadura en la parte superior de éstos y las vigas madrina.

### Excavación y colocación del segundo nivel de troqueles (Figura 35)

En la segunda etapa se excava hasta la profundidad donde se coloca el segundo nivel de troquelamiento, se continúa con el ademado entre cada perfil IR 10" x 32.9 kg/m, con tablonces de madera de 50 mm (2") de espesor, polines de 4 x 4 colocados a cada 1.40 m que constituyen el sistema de retención, los cuales se ponen en forma horizontal en contacto con el terreno y el patín exterior de las viguetas hincadas. Se coloca el segundo nivel de troquelamiento, a una profundidad de 4.70 m con respecto al nivel del terreno natural, a través de una viga madrina IR 12" x 59.8 kg/m y troqueles diagonales en las esquinas.

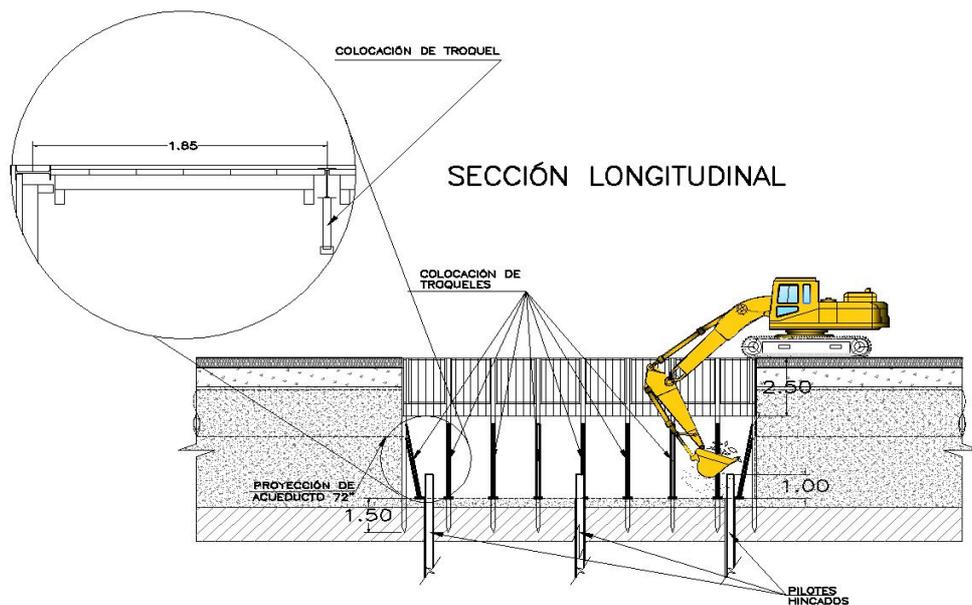


Figura 35. Excavación y colocación de segundo nivel de troqueles

### Excavación hasta el nivel de desplante del cajón de cimentación (Figura 36)

Al término de la colocación del segundo nivel de troquelamiento, se continúa la excavación hasta alcanzar la profundidad máxima de proyecto considerando que se procede a la colocación del ademe de manera similar a lo antes mencionado, los últimos 15 cm se excavan manualmente, afinando el fondo de la excavación.

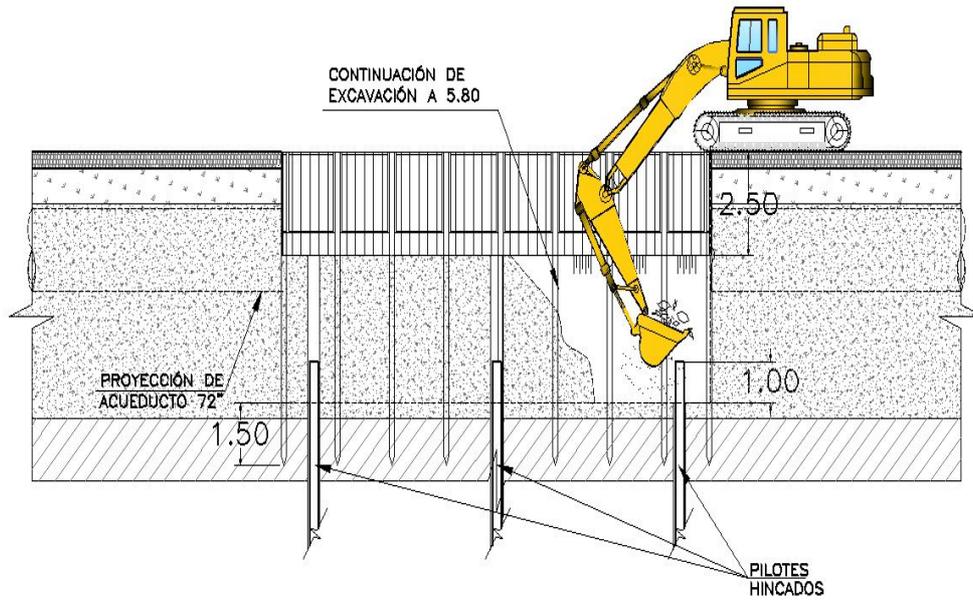


Figura 36. Excavación a nivel de desplante

Imágenes que ilustran el proceso de excavación a base de Muro Berlín



Excavación e hincado de viguetas verticales



Colocación de tablonc de madera para sistema de retención



Tendido de cama de Tezontle para efectuar el colado de la plantilla



Sistema de Muro Berlín

#### 4.1.3. Construcción del cajón de cimentación

##### Colado de plantilla y descabezado de pilotes

Una vez concluida la excavación y la construcción del sistema de retención, se procede al colado de la plantilla de concreto  $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$  de 5 cm de espesor, esta actividad se termina a más tardar 24 horas después de que la excavación haya sido afinada (Imagen 8). Después de que el concreto de la plantilla de desplante ha alcanzado el fraguado inicial (3 horas), se procede a demoler la parte superior de los pilotes (descabezado), para ligar posteriormente el acero de éstos con la losa de fondo y los muros del cajón de compensación (Imagen 9).



Imagen 8. Plantilla de concreto pobre



Imagen 9. Descabece de pilotes

### Armado y colado de losa de fondo

Posteriormente se efectúa el armado y colado de losa de fondo, dejándose las preparaciones necesarias para continuar con el armado de los muros perimetrales, contra trabes y dados de columnas (Imagen 10). Como parte del colado de la losa se incluye el colado de una porción de los muros perimetrales, con una altura mínima de 50 cm (Imagen 11), en cuya parte superior se coloca una banda selladora del tipo water stop. Asimismo se colocan dos tubos de PVC de 2" de  $\varnothing$  a un tercio de distancia en el sentido transversal en cada contra trabe a nivel terminado de la losa de fondo para intercomunicar las celdas del cajón compensado.



Imagen 10. Armado de losa de fondo y preparaciones para muros perimetrales



Imagen 11. Colado de losa de fondo y porción de 50 cm de muros perimetrales

**Armado de muros perimetrales, contra trabes y dados de columnas y primer colado hasta una altura de 3.50 a partir del nivel de desplante de la zapata**

Transcurridas 12 horas de haber colado la losa de fondo, se inicia el retiro del segundo nivel de troquelamiento, sin retirar la viga madrina se adecua un sistema de apuntalamiento con polines de madera, en el cual se apuntalan las viguetas hincadas IR 10" x 32.9 kg/m y el costado de la losa de fondo, efectuando el armado de los muros, contra trabes del cajón y dados de columnas (Imagen 12). Asimismo se realiza el colado de estos elementos pero hasta una altura de 3.50 m a partir del nivel de desplante de la zapata para llevar a cabo posteriormente la colocación de las anclas

con rosca alargada para la conexión de la cimentación con las columnas metálicas (Imagen 13).



Imagen 12. Armado de muros, contra trabes y dados de columnas



Imagen 13. Primer colado hasta 3.50 m

### **Colocación de anclas de rosca alargada y segundo colado del cajón de cimentación hasta el lecho bajo de la losa tapa**

Una vez realizado del colado de los elementos que conforman el cajón de cimentación hasta una altura de 3.50 m a partir del nivel de desplante de la zapata (Imagen 14), se procede a colocar las anclas de rosca alargada como sistema de conexión entre el cajón de cimentación y las columnas metálicas (Imagen 15) y, finalmente se realiza el colado del cajón de cimentación hasta el lecho bajo de losa tapa.



Imagen 14. Primer colado hasta altura de 3.50 m



Imagen 15. Colocación de anclas para conexión con columnas metálicas

### Aplicación de espuma de poliuretano para garantizar la estanqueidad del cajón de cimentación

Con el propósito de evitar tener sobrecargas en el interior de las celdas del cajón de cimentación debido a la posible infiltración del nivel de aguas freáticas, se realiza la aplicación de espuma de poliuretano para garantizar la estanqueidad e impermeabilización del cajón de cimentación (Imagen 16).

Procedimiento que se realiza:

- Limpieza de paredes y losa de fondo: Se da inicio a la limpieza de paredes y losa de fondo, utilizando pulidores y piedras copa con inserto de diamante para concreto, con la finalidad de retirar impurezas del concreto y desmoldante utilizado en la cimbra.
- Aplicación de primera capa de primario epóxico: Se realiza la aplicación de la primera capa de primario epóxico al 50% y 50% solvente, para cubrir cualquier tipo de poro existente en el concreto y/o residuo de desmoldante que no haya sido desprendido con la piedra copa, teniendo un tiempo de aplicación de 10 min y un tiempo de secado de 45 min. Se da el tiempo de secado de la segunda capa de primario epóxico antes de aplicar el poliuretano.
- Aplicación de capa de poliuretano de 1" de espesor: Se realiza la aplicación por aspersión de una capa de poliuretano de espesor de 1", cubriendo el área total en m<sup>2</sup>, y dando así por terminado el proceso.



**Imagen 16. Sistema de impermeabilización a base de espuma de poliuretano**

### **Armado y colado de la losa tapa y retiro del primer nivel de troqueles**

Después de haber colado los muros perimetrales, contra trabes del cajón de cimentación y dados de columnas, se realiza el armado y colado de la losa tapa (Imagen 17), dejando así también las preparaciones para los registros en las celdas del cajón de cimentación en caso de que éstas se llegaran a inundar y poder realizar el bombeo correspondiente.



Imagen 17. Colado de losa tapa y colocación de cimbra para el colado de las mismas

### **Colado de 1.20 m de dado sobre losa tapa y colocación de tuercas de nivelación y placa de base**

Una vez realizado el colado de la losa tapa, se procede a realizar el colado del segmento de 1.20 m de dado sobre la losa tapa (Imagen 18). Asimismo, transcurrido el tiempo necesario para el fraguado del concreto del dado, se realiza la colocación de las tuercas de nivelación y de la placa de base para posteriormente ser recubiertas con grout y formar una base para recibir y empotrar a las columnas metálicas con la cimentación (Imagen 19).

### **Relleno del espacio perimetral entre el cajón de cimentación y paredes de excavación, restitución de carpeta**

Una vez que se construyó la losa tapa del cajón de cimentación y que se coló el segmento de dado sobre losa tapa y que hayan transcurrido 36 horas de su colado, se inicia con el relleno del espacio comprendido entre los muros del cajón de compensación y el muro Berlín, compactándose en capas y retirando en forma paralela los puntales, viga madrina y tabloncillos de madera del ademe del muro Berlín, para que finalmente al llegar al relleno a nivel de losa tapa se extraigan las viguetas verticales del primer nivel de troquelamiento.

Se continúa con el relleno de la excavación por encima del cajón de compensación hasta la restitución de la carpeta asfáltica.



Imagen 18. Colado de ajuste de dados, colocación de tuercas de nivelación y placa de base



Imagen 19. Recubrimiento de placa de base

#### 4.1.4. Montaje de columnas metálicas y cabezales metálicos

##### Montaje de columnas metálicas

El traslado de las piezas metálicas desde los talleres de fabricación hasta el sitio de la obra, se lleva a cabo mediante plataformas propulsadas por tractocamiones. Para evitar deslizamientos horizontales y laterales en las plataformas las piezas metálicas son aseguradas con cadenas tensadas (Imagen 20).



**Imagen 20. Traslado de columnas metálicas**

Una vez que los elementos metálicos se encuentran en el sitio de la obra se procede a realizar el montaje de las columnas metálicas sobre las bases y anclas de rosca alargada preparadas desde la construcción del cajón de cimentación.

Previo al montaje de las columnas metálicas se realizan las preparaciones necesarias en las mismas para poder realizar el izaje y montaje, soldándose dos placas metálicas en el extremo superior de la columna de donde es sujeta y montada (Imagen 21).

Una vez que las preparaciones se encuentran terminadas se realiza una verificación topográfica, para asegurar el correcto montaje.

El montaje de las columnas se realiza con grúas móviles de brazo telescópico montadas sobre neumáticos con capacidad de 30 toneladas y con estrobos de línea como elementos de sujeción (Imagen 22). Una vez que la grúa posiciona los estabilizadores adecuadamente sobre bases de madera, se procede a realizar el montaje de la columna con la ayuda de personal que se encarga de guiarla, posicionarla y empotrarla sobre las anclas y base de la columna (Imagen 23).



Imagen 21. Placas metálicas soldadas para sujeción de columna metálica



Imagen 22. Montaje de columna metálica con grúa móvil



Imagen 23. Guía y empotramiento de columna metálica sobre anclas y base de columna

Efectuado el montaje de las columnas metálicas se realiza la verificación topográfica, así como la colocación de las tuercas hexagonales tipo pesado (Imagen 24) verificando que éstas cumplan con lo especificado en los planos de proyecto, es decir, con una distancia de 10 cm del límite superior de la placa base al límite superior del ancla (Figura 37).



Imagen 24. Colocación de tuercas hexagonales tipo pesado

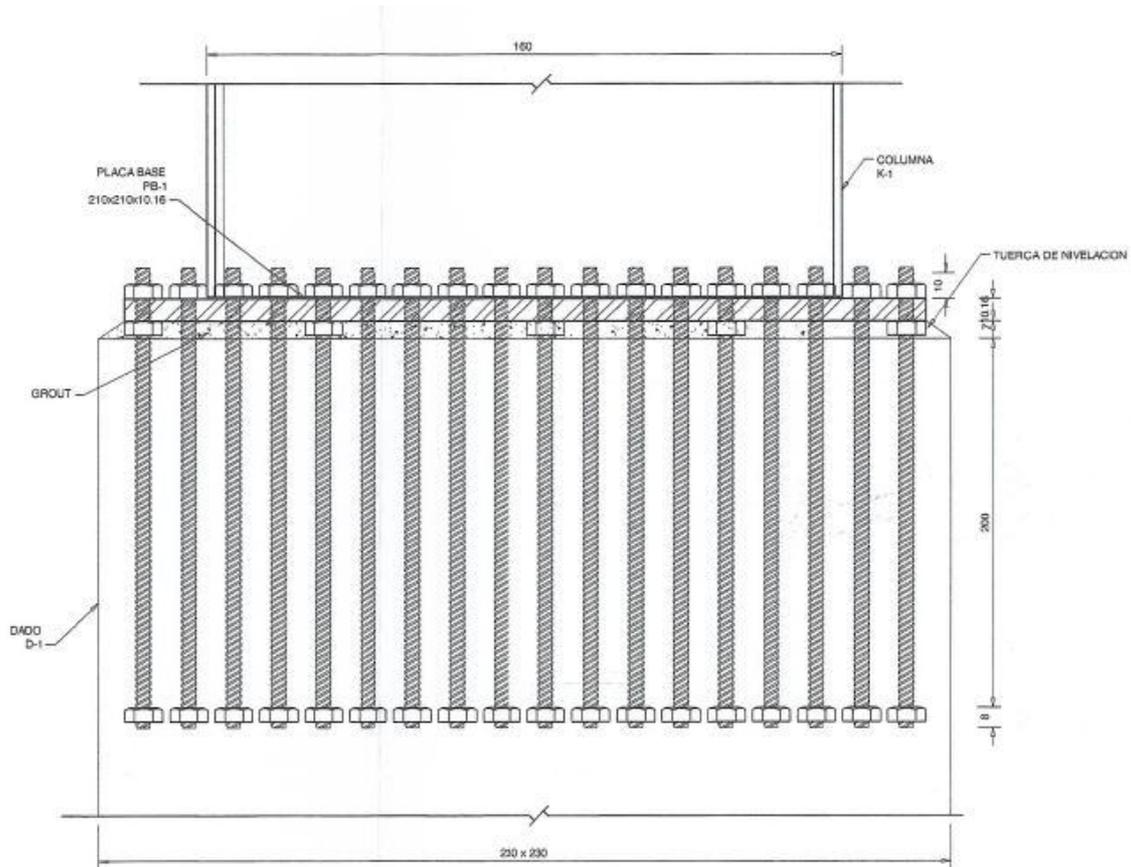


Figura 37. Distancia de colocación tuercas tipo pesado

Finalizado el procedimiento de montaje de la columna, se procede a aplicar un cordón de soldadura alrededor de las tuercas hexagonales tipo pesado para asegurar que no existan corrimientos de las mismas por movimientos en la estructura (Imagen 25). Finalmente se aplica pintura sobre toda la zona de la base de la columna (Imagen 26).



Imagen 25. Aplicación de cordón de soldadura alrededor de tuercas tipo pesado



Imagen 26. Aplicación de pintura en base de columna

### Montaje de cabezales metálicos

El montaje de los cabezales se realiza con grúa móvil montada sobre neumáticos de brazo telescópico con capacidad de 15 toneladas y con estrobos de línea para su sujeción.

Previo al montaje del cabezal, se sueldan en las esquinas del cuerpo lateral del mismo orejas metálicas para sujetarlo y montarlo (Imagen 27).

Una vez que se hicieron las preparaciones necesarias para la correcta sujeción del cabezal, se procede a realizar el montaje, posicionando correctamente los estabilizadores de la grúa sobre bases de madera para un mejor apoyo y distribución de la carga. Se sujeta correctamente el cabezal de las cuatro esquinas a las cuales se soldaron las orejas y se realiza el izaje y montaje del mismo sobre las columnas metálicas, verificando con equipo de topografía su correcta ubicación y posicionamiento.

Montado el cabezal en la columna se procede a realizar los trabajos de soldadura en la unión de éste con las columnas metálicas, manteniendo sujeto al cabezal con la grúa hasta que se haya realizado una soldadura que garantice la correcta unión del cabezal con la columna y evitar cualquier accidente (Imagen 28).

Una vez finalizados los trabajos de soldadura, se procede a realizar una inspección de la misma, ya sea mediante líquidos penetrantes o mediante radiografías, en caso de existir detalles en la soldadura se procede a reparar y, finalmente aceptados los trabajos de soldadura se realiza la aplicación de pintura en la unión del cabezal y la columna (Imagen 29).



Imagen 27. Orejas para sujeción y montaje de cabezal metálico



Imagen 28. Trabajos de soldadura en unión de cabezal con columnas metálicas



**Imagen 29. Trabajos de detalle en soldadura de unión de cabezal con columna**

Una vez que se ha finalizado el montaje del cabezal en su totalidad, se realizan los trabajos de soldadura de los apoyos fijos, móviles y de banco de placas y la colocación de los neoprenos para recibir a las traveses metálicas. A continuación se muestran imágenes en las cuales se aprecian estos elementos.



**Colocación de los bancos de placas para placas de neopreno**



Apoyo móvil



Apoyo fijo



Detalle apoyo fijo

## 4.2. Superestructura

### 4.2.1. Montaje de traveses metálicas

El traslado de las traveses metálicas desde los talleres de fabricación hasta el sitio de la obra, se lleva a cabo mediante plataformas propulsadas por tractocamiones (Imagen 30). Las traveses por sus características geométricas no exceden el ancho y el alto de la unidad de transporte, en cuanto a su longitud exceden el largo de la plataforma por lo que van señalizadas en su parte posterior.

Para evitar deslizamientos horizontales y laterales en las plataformas las piezas metálicas son aseguradas con cadenas spectrum, las cuales son tensadas con tensores de carga. La fijación de los elementos se realiza en al menos en tres puntos de la longitud de la pieza sobre la plataforma.

Una vez que las traveses metálicas llegan a la obra, éstas son izadas y colocadas en el sitio correspondiente mediante la ayuda de una grúa móvil con capacidad de carga máxima de 50 toneladas y sujetadas con cadenas de acero y un grillete tipo ancla con perno roscado (Imagen 31).



**Imagen 30. Traslado de travesaños metálicos**



**Imagen 31. Colocación de travesaños metálicos en obra**

### Ensamble de traveses en campo

La unión de traveses metálicos de 27.305 m que comprende el cruce del tramo elevado de la Línea 12 del Metro con Periférico Oriente, se realiza en campo mediante el procedimiento calificado por AWS D1.5 denominado GMAW (soldadura protegida con gas CO<sub>2</sub>) debido a que éstas por sus dimensiones vienen seccionadas a la mitad (Imagen 32).



**Imagen 32. Soldadura protegida con CO<sub>2</sub>**

La aplicación de la soldadura siempre se realiza en posición normal, por lo cual después de aplicar la soldadura en patines la pieza es girada 90° con objeto de lograr una posición normal (en forma horizontal) para el trabajo del soldador. Todas las raíces son trabajadas con equipos de arco aire y electrodos de carbón, tal como se describe a continuación (Imagen 33).

- Se aplica soldadura en los biselados de los patines superior e inferior.
- Se gira la trabe 90° para poder trabajar la soldadura de filete en el alma en posición normal.
- Se gira nuevamente la trabe 90° para poder trabajar la raíz de los patines soldados anteriormente.
- Se gira por tercera vez la trabe para trabajar la raíz del alma.



**Imagen 33. Aplicación de método arco aire en raíz de patín inferior.**

Durante la aplicación de la soldadura de campo con el objetivo de proteger la calidad de la soldadura se toman las precauciones relativas y climatológicas como viento y lluvia. Para ello se dispone de una pequeña carpa que cubra la unión por soldar así como al soldador.

Antes de aplicar la soldadura, el metal base se precalienta y se checa con un lápiz térmico para evitar la formación de grietas. Esta temperatura se conserva durante todo el proceso de colocación de la soldadura, en una distancia cuando menos igual al espesor de la parte soldada más gruesa, pero no menos de 75 mm, en todas las direcciones, alrededor del punto en el que se está depositando el metal de aportación.

Todas las uniones en el centro del claro de las traveses son juntas de penetración completa (Imagen 34) las cuales son revisadas por el método que se determina en campo de acuerdo a las normas AWS D1.5, aplicándose las siguientes pruebas como se indica: radiografía a patín superior, alma y patín superior ultrasonido y contraventeo líquidos penetrantes.



**Imagen 34. Junta de penetración completa en el centro del claro**

En caso de resultar la unión con defectos el laboratorio establece un porcentaje de eficiencia al que está aplicada la soldadura con el siguiente criterio para su reparación.

Para la reparación del patín inferior se propone el siguiente criterio:

- a) Si la soldadura tiene un porcentaje de eficiencia del 70% o menos. La unión deberá ser removida en su totalidad, y previa limpieza de la preparación, se soldará nuevamente y se reinspeccionará con el mismo procedimiento.
- b) Si el porcentaje de eficiencia de la junta resulta ser entre el 70% y el 98%, se propone la colocación de 2 cubre placas en la parte interna del patín (no visibles) de dimensiones de 64x200x1200 mm (Figura 38), esto representa la restitución del 61% de la capacidad total de la unión.

Para la reparación del patín superior se propone el siguiente criterio:

- a) Si la soldadura tiene un porcentaje de eficiencia del 70% o menos. La unión deberá ser removida en su totalidad, y previa limpieza de la preparación, se soldará nuevamente y se reinspeccionará con el mismo procedimiento.
- b) Si el porcentaje de eficiencia de la junta resulta el 70% y el 98%, se propone la colocación de dos cubre placas en la parte inferior del patín de dimensiones de 25x200x800 mm (Figura 39), que representa la restitución del 66% de la capacidad total de la unión.

Para la reparación del alma se propone el siguiente criterio:

- a) Si la soldadura tiene un porcentaje de eficiencia del 70% o menos. La unión deberá ser removida en su totalidad, y previa limpieza de la preparación, se soldará nuevamente y se reinspeccionará con el mismo procedimiento.
- b) Si el porcentaje de eficiencia de la junta resulta ser entre el 70% y el 98%, se propone la colocación de una placa de dimensiones de 13x300 (Figura 40), colocada en la parte inferior en todo el peralte del alma.

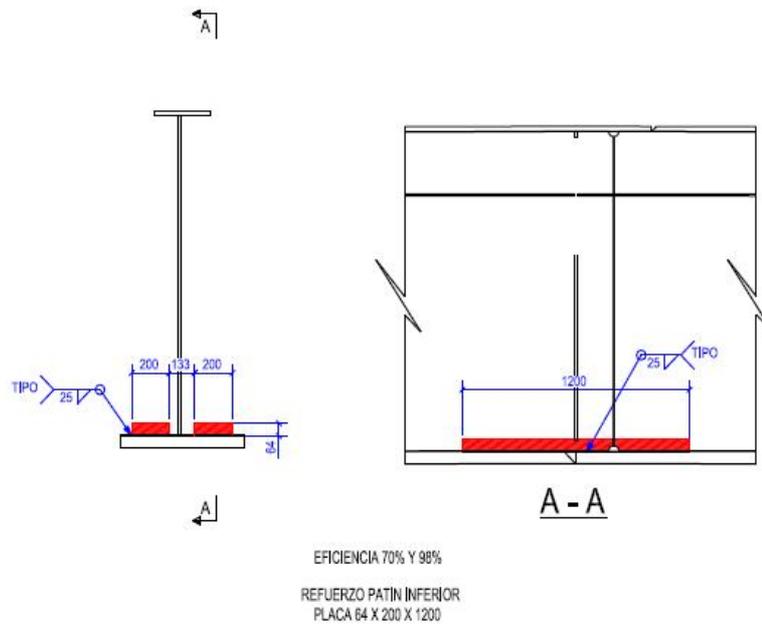


Figura 38

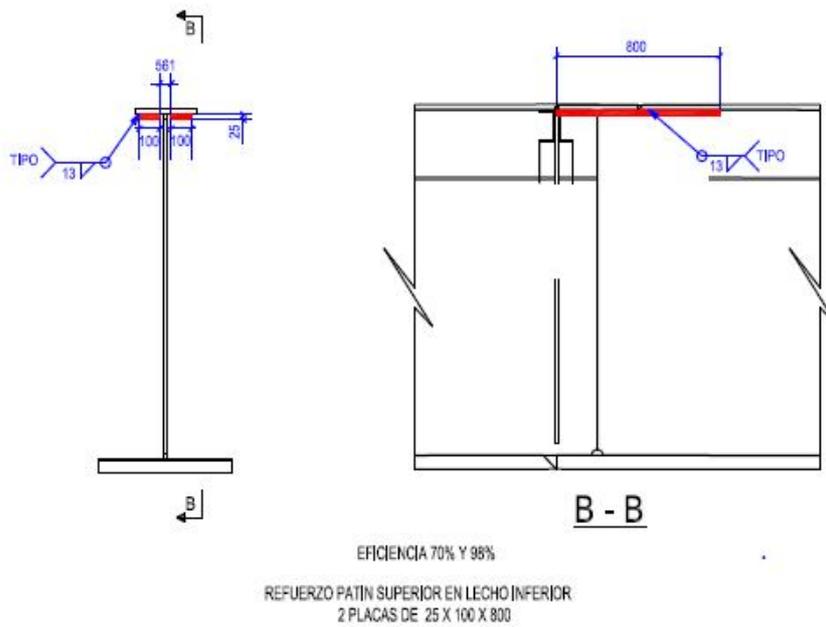


Figura 39

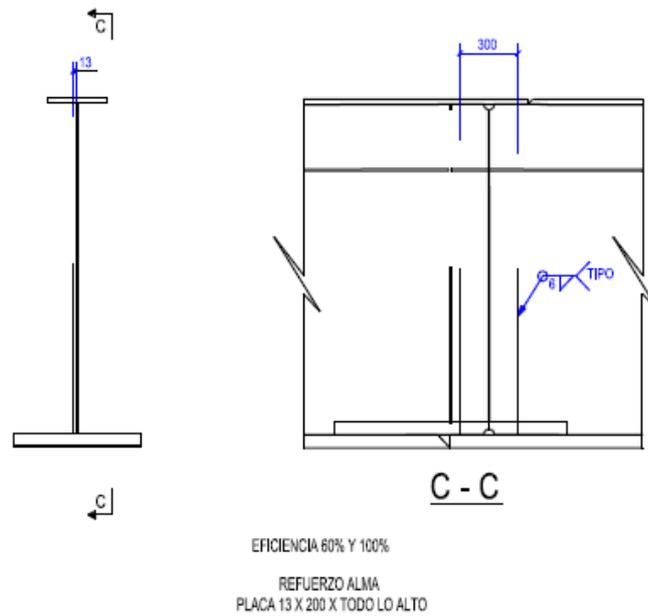


Figura 40

A continuación se muestran imágenes en donde se observa en qué condiciones llegan las traves a la obra.





Una vez que se realiza la unión de las dos traves metálicas de 27.305 m que conforman este cruce, se colocan las traves sobre una cama de vigas metálicas previamente niveladas y se procede a dar el dimensionamiento de la posición de cada trabe a nivel de piso (Imagen 35).



Imagen 35. Dimensionamiento de posición de traves a nivel de piso

Posteriormente se suelda el contraventeo a cada 2.50 m (Imagen 36) y la trabe transversal para tope sísmico móvil (Imagen 37) y, se atornilla la trabe transversal para tope sísmico fijo (Imagen 38). Finalmente se sueldan los topes sísmicos móvil y fijo.



**Imagen 36. Contraventeo**



**Imagen 37. Tope sísmico móvil**



Imagen 38. Tope sísmico fijo

### Montaje de traveses metálicos

Previo al montaje de las traveses metálicos, éstos se posicionan sobre el punto del cual se realizan las maniobras de montaje, para lo cual se utiliza una grúa con capacidad menor que la de las grúas que realizan los principales movimientos para el montaje.

Para el montaje de las traveses metálicos se utilizan tres grúas móviles montadas sobre neumáticos con brazo telescópico de diferente capacidad de carga, la grúa que efectúa el posicionamiento de las traveses metálicas con capacidad de carga máxima de 50 t y las dos grúas que realizan los movimientos principales con capacidad de carga máxima de 100 t. Para la sujeción de las traveses se utilizan estrobo de 1 1/8" de diámetro con una longitud incluyendo los ojales de 8,000 mm y grilletes tipo ancla con perno roscado de 1 1/4".

Por la dificultad de las maniobras de montaje, los espacios requeridos y por efectuarse sobre Periférico Ote., es necesario realizarlo en la madrugada para poder cerrar la vialidad.

Una vez que las traveses metálicas se encuentran posicionadas sobre el punto de partida de las maniobras de montaje, se realiza una verificación topográfica de la distancia entre ejes de apoyo y cabezales. Así como también se revisa la ubicación y niveles de los bancos de placa, apoyos de neopreno y, de los apoyos móviles y fijos para la conexión con los topes sísmicos.

Antes de comenzar con el montaje, se posicionan las grúas sobre el punto en cual comienzan las maniobras, se apoyan los estabilizadores sobre placas metálicas, se sujetan correctamente las traveses metálicas y finalmente se realiza la maniobra final, la colocación de las traveses sobre los apoyos de neopreno y los apoyos móviles y fijos; esto con ayuda de guías y personal capacitado para realizar estas maniobras, como se aprecia en las siguientes imágenes.







#### 4.2.2. Construcción de paso de vía

Una vez que se ha finalizado con el montaje de traveses metálicos, se realiza el traslado de las tabletas precoladas al sitio de obra (Imagen 39).



Imagen 39. Tabletillas prefabricadas para zona de vía

#### Montaje de tabletillas precoladas

El montaje de las tabletillas precoladas sobre los traveses metálicos, se realiza con grúa móvil telescópica con capacidad de carga máxima de 15 t, por medio de estrobo de línea y grilletes tipo ancla con perno roscado que se sujetan a las orejas ahogadas en las tabletillas (Imagen 40).



Imagen 40. Montaje de tabletillas precoladas

### Construcción de zona de vía

Una vez montadas las tabletas precoladas, se procede a levantar las puntas de las varillas que se dejan en las tabletas para el traslape con el armado de los muretes, muro central y armado de losa de compresión. Asimismo se realiza la colocación de los conectores tipo Nelson en los huecos de las tabletas para la conexión de éstas con las traves metálicas (Imagen 41).



**Imagen 41. Levantamiento de punta de varillas y colocación de conectores Nelson**

Lo siguiente es la construcción de la losa de compresión de 16 cm de espesor con pendiente del 2%, lo cual se realiza en dos etapas:

La primera etapa consiste en el armado y colado de los primeros 10 cm de losa (Imagen 42 e Imagen 43). Una vez colada la primera capa, se realiza la segunda etapa; la cual consiste en el tendido de la malla equipotencial con cable de cobre desnudo para el sistema de tierras (Imagen 44), realizando el segundo colado de los 8 cm restantes de firme de compresión (Imagen 45).

Cabe mencionar que durante el armado de la losa de compresión, se dejan las preparaciones para el armado de muretes laterales, muro central y registros para bajada de agua pluvial. El armado y colado de muretes se puede realizar al mismo tiempo que el colado de la losa de compresión.



Imagen 42. Armado de losa de compresión



Imagen 43. Colado de losa de compresión



Imagen 44. Tendido de malla equipotencial



Imagen 45. Colado de segunda capa del firme de compresión

Una vez construida la losa de compresión se procede a realizar el armado, cimbrado y colado de muretes laterales y muro central con espesor de 15 cm (Imagen 46 e Imagen 47). Colados éstos, se realiza el aparentado de los mismos (Imagen 48).



**Imagen 46. Armado de muro central**



**Imagen 47. Cimbrado y colado de muro central y muretes laterales**



**Imagen 48. Aparentado de muros**

Al mismo tiempo en que se realiza la construcción de los muros, se realiza el armado, colocación de marcos y contramarcos y colado de cajas registro para bajada de agua pluvial, por las cuales atraviesa una tubería de PAD de 6" de  $\varnothing$  con orificios a lo largo de su longitud para el drenado del agua pluvial (Imagen 49).



**Imagen 49. Caja registro para bajada de agua pluvial**

Una vez colados y aparentados los muros laterales, muro central, caja registro y tendido de tubería de PAD de 6" de  $\varnothing$ ; se procede al tendido y nivelación de la primera cama de balasto (grava de 1") con espesor de 32.4 cm (Imagen 50 e Imagen 51).



**Imagen 50. Tendido de balasto**



**Imagen 51. Nivelación de balasto**

Tendida y nivelada la primera cama de balasto se colocan y nivelan los durmientes de concreto con longitud de 2.40 m a lo largo de la vía a una separación de 30 cm (Imagen 52). Posterior a la colocación de los durmientes, se realiza el izaje, colocación, alineación, nivelación y fijación de los rieles en los durmientes de concreto (Imagen 53 e

Imagen 54) y, por último se realiza la unión a tope entre rieles por medio de soldadura aluminotérmica. Una vez que se realiza la soldadura aluminotérmica en los rieles, se coloca la segunda cama de balasto hasta el nivel de los durmientes, empleando vibradores para material granular (Imagen 55).



Imagen 52. Durmientes de concreto



Imagen 53. Colocación de rieles

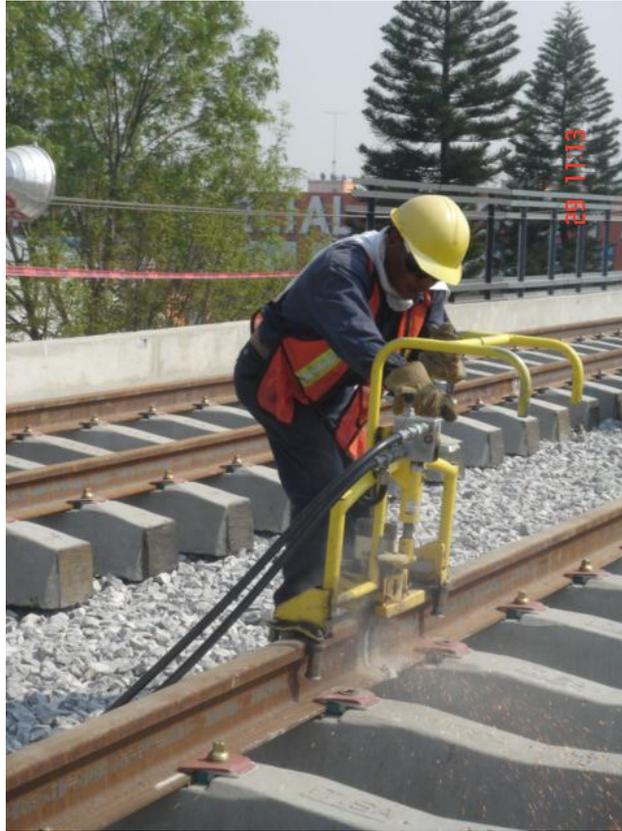


Imagen 54. Fijación de rieles



Imagen 55. Balasto a nivel de durmientes

### Construcción de trincheras

Una vez que se ha construido la zona de vía, se procede con la construcción de la zona de trincheras. Se comienza colocando en los extremos de las tabletas precoladas calzas de acero, a las cuales se suelda la estructura metálica de las trincheras conformada por perfiles IPR soldados entre sí (bastidores metálicos) (Imagen 56 e Imagen 57).



Imagen 56. Colocación de bastidores metálicos



Imagen 57. Calzas para estructura de trinchera

Colocada y soldada la estructura metálica de la trinchera, se limpia la zona de la tableta prefabricada que servirá como base de la zona de trinchera y se efectúa la construcción del firme de concreto ligero de aproximadamente 8 cm de espesor con pendiente de 10%, para lo cual se coloca un relleno de poliestireno con una parilla de malla electrosoldada de refuerzo y posteriormente se cuela el firme de concreto (Imagen 58 e Imagen 59).



**Imagen 58. Relleno de poliestireno en trinchera**



**Imagen 59. Refuerzo de malla electrosoldada y colado de firme de concreto**

Construido el firme de concreto, se realiza la colocación del acabado para trinchera, que consiste en placas de multipanel fijadas a la parte exterior de la estructura metálica por medio de calzas. Terminado el acabado de las trincheras se colocan las tabletas de policoncreto para el andador de las trincheras, las cuales van apoyadas sobre perfiles que se fijan al murete y a los bastidores verticales por medio de ángulos atornillados a los bastidores y al murete por medio de taquetes (Imagen 60 e Imagen 61).



**Imagen 60. Tabletillas de policoncreto para andador de trinchera**



**Imagen 61. Perfiles para apoyo de tabletas de policoncreto**

Colocadas las tabletas para el andador de trinchera, se colocan las charolas de aluminio, las cuales van apoyadas sobre bastidores verticales atornillados a la estructura metálica (Imagen 62). Así como también, se fija la tubería contra incendio apoyada sobre ménsulas atornilladas a la estructura metálica (Imagen 63).



**Imagen 62. Charolas de aluminio**



**Imagen 63. Tubería contra incendio**

Finalmente se realiza la colocación de las bases para los postes de las catenarias, las cuales por tratarse de un tramo en curva y en bocina, solamente llevan catenarias en la parte exterior de la vía. Primeramente se suelda la trabe que va a soportar al poste de la catenaria con el alma y patín superior de la trabe metálica principal, posteriormente se suelda la base para el poste de la catenaria a la trabe y finalmente se ancla el poste de la catenaria a la base por medio de tornillos galvanizados ( Imagen 64 e Imagen 65).



**Imagen 64. Colocación postes para catenarias**



**Imagen 65. Detalle bases para catenarias**

## Conclusión

En los tramos elevados de la Línea 12 del metro se utilizaron diversas soluciones constructivas: cajones de cimentación parcialmente compensados, zapatas octagonales para desplante en roca, columnas de concreto hidráulico construidas in situ, apoyo prefabricado (cimentación y columna), cabezales metálicos y de concreto hidráulico, traveses metálicos, vigas prefabricadas, y superestructura prefabricada.

La construcción del tramo elevado de la Línea 12 del metro se realizó empleando dos sistemas constructivos: convencional ejecutado por CARSO y prefabricado ejecutado por ICA.

El cruce de la Línea 12 del metro con Periférico Oriente corresponde al sistema constructivo convencional, éste se realizó mediante la construcción de cajones de cimentación parcialmente compensados apoyados sobre 12 pilotes de fricción, doble columna metálica, cabezales metálicos y paso de vía en bocina debido a la complejidad que representaba el cruce, de lo contrario se habrían utilizado columnas mucho más robustas y pesadas.

Este cruce representó un reto constructivo importante debido principalmente a tres aspectos:

- La altura que debía librarse, lo cual implicó maniobras complejas y precisas de maquinaria pesada.
- Tipo de suelo existente, arcillas altamente compresibles, en donde al metro de excavación se encontraba el nivel de aguas freáticas.
- La cantidad de obra inducida efectuada para reubicar la infraestructura existente (drenaje, agua, luz, telefonía, etc.).

Sin lugar a duda, el cruce de la Línea 12 del metro con Periférico Oriente representa la obra más compleja correspondiente al tramo elevado de esta línea de metro, lo cual constata la capacidad, habilidad y experiencia que posee la ingeniería mexicana.

## Referencias

- Bernardo Navarro, G. O. (1989). Metro metropoli México. México, DF.
- Casado, F. N. (1985). Planeación y construcción en líneas del metro.
- Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad. (1997). Estrategia Integral de Transporte y Calidad del Aire para la Zona Metropolitana del Valle de México (Vol. Tomos 8).
- Gobierno del Distrito Federal. (s.f.). Transparencia Línea 12, Impacto Ambiental. Recuperado el Junio de 2011
- Gobierno del Distrito Federal. (s.f.). Transparencia Línea 12, Impacto en la movilidad. Recuperado el Junio de 2011, de [http://www.transparencialinea12.df.gob.mx/wb/l12/impacto\\_en\\_la\\_movilidad](http://www.transparencialinea12.df.gob.mx/wb/l12/impacto_en_la_movilidad)
- Gobierno del Distrito Federal. (s.f.). Transparencia Línea 12, Convenios y Contratos. Recuperado el Junio de 2011, de [http://www.transparencialinea12.df.gob.mx/wb/l12/convenios\\_y\\_contratos](http://www.transparencialinea12.df.gob.mx/wb/l12/convenios_y_contratos)
- Gobierno del Distrito Federal. (s.f.). Transparencia Línea 12, Trazo de la obra. Recuperado el Junio de 2011, de [http://www.transparencialinea12.df.gob.mx/wb/l12/trazo\\_de\\_la\\_obra\\_](http://www.transparencialinea12.df.gob.mx/wb/l12/trazo_de_la_obra_)
- Gutierrez, J. R. (2008). El Sistema de Transporte Colectivo Metro como una solución viable al problema del transporte en la Ciudad de México 1994-2006 . México, Distrito Federal, México.
- Metro de la Ciudad de México. (s.f.). Antecedentes del Transporte de la Ciudad de México. Recuperado el Junio de 2011, de <http://www.metro.df.gob.mx>
- Metro de la Ciudad de México. (s.f.). Datos de Operación. Recuperado el Junio de 2011, de <http://www.metro.df.gob.mx/operacion/cifrasoperacion06.html>
- Metro de la Ciudad de México. (s.f.). Etapas de construcción de la red del STC Metro. Recuperado el Junio de 2011, de <http://www.metro.df.gob.mx/organismo/construccion.html>
- Metro de la Ciudad de México. (s.f.). Línea 12 - Línea Dorada. Recuperado el Junio de 2011, de <http://www.metro.df.gob.mx/sabias/linea12.html#3>
- Metro de la Ciudad de México. (s.f.). Organismo (Decreto de creación del Sistema de Transporte Colectivo). Recuperado el Junio de 2011, de <http://www.metro.df.gob.mx/organismo/mjdecreto.html#2007>
- Proyecto Metro del Distrito Federal. (s.f.). Características. Recuperado el Junio de 2011, de <http://www.proyectometro.df.gob.mx/caracteristicas.php>
- Proyecto Metro del Distrito Federal. (s.f.). Proyecto Metro. Recuperado el Junio de 2011, de <http://www.proyectometro.df.gob.mx/proyecto.php>

Sedano, D. (Dirección). (2003). El metro, una historia subterránea [Película].

Spectron Desarrollo. (8 de Junio de 2009). Evaluación Socio-Económica de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México. . México D.F.

Transparencia Línea 12. (s.f.). ¿Qué es la Línea 12? Recuperado el Junio de 2011, de [http://www.transparencialinea12.df.gob.mx/wb/l12/que\\_es\\_la\\_linea\\_12](http://www.transparencialinea12.df.gob.mx/wb/l12/que_es_la_linea_12)