



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN

**“PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
DEL VIADUCTO ELEVADO DE LA
LÍNEA 12 DEL METRO
CADENAMIENTOS 14+633.456 AL
15+997.373”**

TESIS

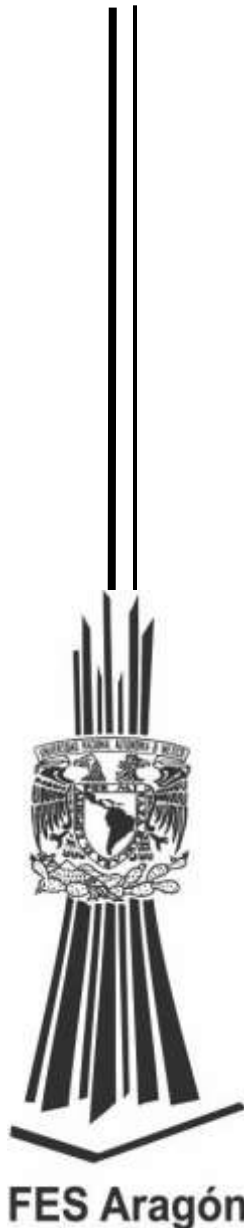
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTA

JOSÉ GUSTAVO AVILA ARCHUNDIA

ASESOR:

M. EN I. MARTÍN ORTIZ LEÓN



MÉXICO

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mi madre Martha Archundia Galván

A mi Padre José Gustavo Avila Zárraga

A mis hermanos Martha Marian y Guillermo Isac

A mi tía-abuela Guillermina Girón Paredes

A mis tíos Román Avila y Concepción Zárraga

A mi abuela Teresa Galván

A la memoria de mis abuelos Consuelo Zárraga y Roberto Avila

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Aragón por permitirme pertenecer a la mejor Universidad de América Latina.

Al M. en I. Martín Ortiz León por la dirección y asesoría de esta tesis.

A los miembros del jurado por los comentarios y valiosas aportaciones para la redacción de esta tesis.

Al Ing. Benito Cerros Pérez por su apoyo, consejos, aportaciones y ayuda incondicional desde el comienzo de este trabajo.

Al personal de ICA del Proyecto Línea 12: Arq. Antonio Arzate, Arq. Rigoberto Montiel, Arq. Denisse Martínez, al futuro Ing. Gerardo Lira y al futuro Arq. Francisco Paredes por su aportación técnica y fotográfica.

A Elida Velasco por ser parte de este logro, a Rosa Bernabé por las pláticas y consejos en materia de Ingeniería, a mis compañeros de generación Álvaro Mota, Víctor Mercado, Luis Monroy, y a todos aquellos que contribuyeron de alguna forma a la realización de este trabajo.

**“PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
DEL VIADUCTO ELEVADO DE LA
LÍNEA 12 DEL METRO
CADENAMIENTOS 14+633.456 AL
15+997.373”**

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo I Antecedentes Históricos	8
1.1 El Metro de la Ciudad de México.....	9
1.2 Inauguraciones y Ampliaciones en Orden Cronológico.....	10
1.3 Procedimientos Constructivos en Líneas Anteriores del Metro.....	12
1.4 La Primera Línea Elevada del Metro.....	15
1.4.1 Diseño Estructural.....	16
1.5 Ampliación y Construcción de la Red del Metro.....	19
1.5.1 Objetivos de la Construcción de la Línea 12.....	21
1.5.2 Delegaciones Beneficiadas.....	21
1.5.3 Beneficios de la Construcción de la Línea 12.....	22
1.5.4 Rentabilidad Social de la Inversión.....	22
1.5.5 Beneficio Social y Económico.....	23
1.5.6 Beneficios Ambientales.....	24
1.5.7 Eficiencia.....	25
1.6 Aspectos Relevantes del Proyecto.....	25
1.6.1 Características Físicas y Operativas.....	25
1.6.2 Conectividad al Sur-Oriente de la Ciudad.....	26
1.6.3 Características Técnicas.....	27
1.7 Elaboración de Estudios y Proyectos.....	28
1.8 Localización.....	29
1.9 Objetivos.....	30

Capítulo II Estudios Preliminares.....	31
2.1 Zonificación Estratigráfica de la Ciudad de México.....	32
2.2 Trazo del Viaducto Elevado.....	33
2.3 Obra Inducida.....	34
2.3.1 Interferencias con Líneas del Metro.....	38
2.4 Definición de Estructuras por Tramo.....	38
2.5 Perfil Estratigráfico del Viaducto Elevado.....	40
2.6 Soluciones de Cimentación.....	41
2.7 Estructura del Tramo Elevado.....	42
2.8 Distribución de Apoyos de Cimentación del Viaducto Elevado.....	45
Capítulo III Características de la Estructura.....	46
3.1 Proyecto Arquitectónico.....	47
3.1.1 Accesos.....	49
3.1.2 Vestíbulos.....	50
3.1.3 Circulaciones.....	50
3.1.4 Taquillas.....	51
3.1.5 Controles.....	52
3.1.6 Andén.....	52
3.1.7 Selección de Materiales.....	54
3.1.8 Pisos.....	55
3.1.9 Muros.....	57
3.1.10 El Color y la Iluminación.....	59
3.1.11 Señalización.....	65

3.2	Proyecto Estructural.....	68
3.2.1	Diseño Estructural.....	71
3.2.2	Solicitaciones de Diseño.....	72
3.2.3	Diseño de Estructuras de Concreto.....	73
3.2.4	Diseño de la Cimentación.....	76
Capítulo IV Procedimiento Constructivo.....		80
4.1	Construcción de Pilas.....	81
4.1.1	Antecedentes.....	81
4.1.2	Procedimiento.....	81
4.2	Construcción de Zapatas.....	90
4.2.1	Antecedentes.....	90
4.2.2	Procedimiento.....	90
4.3	Montaje de Columnas.....	99
4.3.1	Antecedentes.....	99
4.3.2	Procedimiento.....	99
4.4	Verticalidad de las Columnas.....	106
4.4.1	Procedimiento.....	106
4.5	Conexión de Zapatas.....	107
4.5.1	Antecedentes.....	107
4.5.2	Procedimiento.....	108
4.6	Montaje de Trabes.....	111
4.6.1	Antecedentes.....	111
4.6.2	Procedimiento.....	114

4.7	Trabajos Complementarios en Trabes.....	119
4.7.1	Placas de Conexión.....	119
4.7.2	Bulbo Superior.....	120
4.7.3	Muros Trinchera.....	122
4.7.4	Firme Nivelador.....	123
4.7.5	Colocación de Balasto, Durmientes y Vías.....	125
	Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones.....	132
	Bibliografía.....	137

INTRODUCCIÓN

El Metro es, probablemente, la obra civil y arquitectónica más grande y compleja de la Ciudad de México. Su principal característica es que está en un proceso permanente de transformación y crecimiento, por la incorporación de nuevas tecnologías y la ampliación de la red.¹

Emanado del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal 2007-2012 y apoyado en el Plan Maestro del Metro de 1985, el Gobierno del Distrito Federal anunció la posible construcción de una nueva Línea del Metro, esto con la finalidad de atender la demanda de servicio de transporte público al sur-oriente de la Ciudad de México en la reciente década.

Gracias a la demanda ciudadana, el Gobierno capitalino impulsó el proyecto de construcción de la nueva Línea y el 29 de Julio de 2007 a través del proyecto denominado Consulta Verde se le preguntó a la población de la Ciudad de México su opinión sobre transporte público, manejo del agua, medio ambiente y el trazo sugerido para la Línea 12 del Metro. La encuesta dio como resultados dos posibles rutas: La primera que proponía la ruta de Iztapalapa-Acoxta y la segunda que competía con ruta de Iztapalapa-Tláhuac.

El 7 de Agosto de 2007 se dieron a conocer los resultados de la encuesta en donde la ruta Iztapalapa-Tláhuac resultó elegida. El 8 de Agosto de 2007 el Gobierno de la Ciudad de México dio a conocer el proyecto de

¹ Portal de Internet del Sistema de Transporte Colectivo Metro, www.metro.df.gob.mx

manera oficial ante la población con el nombre de *Línea 12: Línea dorada, Línea del Bicentenario*.

El proyecto considera 25.1 kilómetros de recorrido de Tláhuac a Mixcoac, 20 estaciones: Tlahuác, Tlaltenco, Zapotitlán, Nopalera, Olivos, Tezonco, Periférico Oriente, Calle 11, Lomas Estrella, San Andrés Tomatlán, Culhuacán, Atlalilco, Mexicaltzingo, Ermita, Eje Central, Parque de los Venados, Zapata, Hospital 20 de Noviembre, Insurgentes Sur y Mixcoac. Además contará con trenes de rodadura férrea alimentados por sistema de catenaria y tendrá conexión con las líneas 8, 2, 3 y 7, en beneficio de siete delegaciones: Tláhuac, Iztapalapa, Coyoacán, Benito Juárez, Xochimilco, Milpa Alta y Álvaro Obregón, cuya demanda estimada es superior a los 450 mil pasajeros por día, con lo cual dicha línea pasará a ocupar el cuarto lugar de afluencia en la Red del Metro.

El diseño final del proyecto considera 1.7 kilómetros en tramo superficial o mejor conocido como tipo “U”, 12 kilómetros en tramo elevado, 2.4 kilómetros en tramo cajón y 9 kilómetros en tramo de túnel profundo.

La licitación consideraba la edificación de la línea en sección tipo cajón a lo largo del Eje 3 Oriente con 24 estaciones. Como resultado del análisis de la propuesta conceptual, se identificó que durante la construcción sería necesario realizar cierres parciales y totales, así como desvíos en las vías principales de sur a oriente de la ciudad. Asimismo, el procedimiento

constructivo requeriría grandes cantidades de obra inducida y excavaciones en roca.²



Formación	Descripción geológica
Ql	Depósitos lacustres del cuaternario
Qal	Depósitos aluviales del cuaternario
Qt	Tobas en depósitos de flancos
Qc	Vulcanitas, Sierra de las Cruces
Qiv	Vulcanitas del cuaternario inferior
T	Formación Tarango
Qv	Vulcanitas del cuaternario superior
Qvc	Cono, vulcanitas del cuaternario superior
TpM	Vulcanitas ácidas e intermedias en estratovolcanes menores
Qjvc	Cono, vulcanitas del cuaternario inferior

Figura 1. Trazo de la Línea 12 en la zonificación geotécnica de la Ciudad de México. Fuente Revista IC CICM, 2011.

Con base en lo que el proyecto requería, se opta por implementar los procedimientos constructivos tipo túnel profundo o con escudo EPB (Escudo de Presión Balanceada) y viaducto elevado, los cuales brindan ventajas

² Aceves Flores, Jessica y Rodríguez Zamorano, Javier. "Viaducto Elevado de la Línea 12 del Metro" Artículo publicado por Revista IC CICM No. 502, p 10-14, 2011.

sumamente esenciales al disminuir la afectación vial, menor número de obras inducidas y un corto tiempo de ejecución. Con estas propuestas se obtuvo mayor seguridad sobre el cumplimiento en tiempo y forma a las fechas comprometidas de inicio de operación, lo cual trajo nuevos retos de cimentación debido a las variantes del subsuelo y los altos parámetros de comportamiento de la vía ante movimientos.

Se realizó una nueva campaña de sondeos, con la que se determinó que la línea necesitaría de propuestas innovadoras para su cimentación debido a las variaciones en la profundidad en las que se ubica el lecho rocoso.²

Debido a que se identificó la necesidad de trabajar en suelos variables, de baja resistencia y alta deformabilidad, se determinaron diferentes soluciones para cimentación, de acuerdo con la problemática geotécnica.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, como asesor del Gobierno del Distrito Federal, aportó sus observaciones en la etapa de diseño, construcción y pruebas de funcionamiento. Al respecto, se indicó que las estructuras elevadas de gran longitud tipo viaducto presentan una especial propensión a sufrir la variación de la acción sísmica. Investigadores involucrados en el proyecto desarrollaron modelos analizando movimientos uniformes y aleatorios en distintas direcciones para determinar los posibles desplazamientos relativos entre apoyos, tanto en dirección longitudinal como

transversal, generando acelerogramas sintéticos mediante la caracterización del ambiente para obtener un espectro de respuesta estándar y predecir la degradación de propiedades geotécnicas y estructurales que pudieran ocasionar el colapso de las estructuras.³

Esos métodos de análisis dieron mayor certidumbre en los resultados y permitieron el correcto dimensionamiento de la cimentación y de los apoyos trabe-columna del viaducto elevado. Como parte de los resultados pudo determinarse el comportamiento pronosticado de manera particular en cada apoyo, así como parte de un sistema integral.

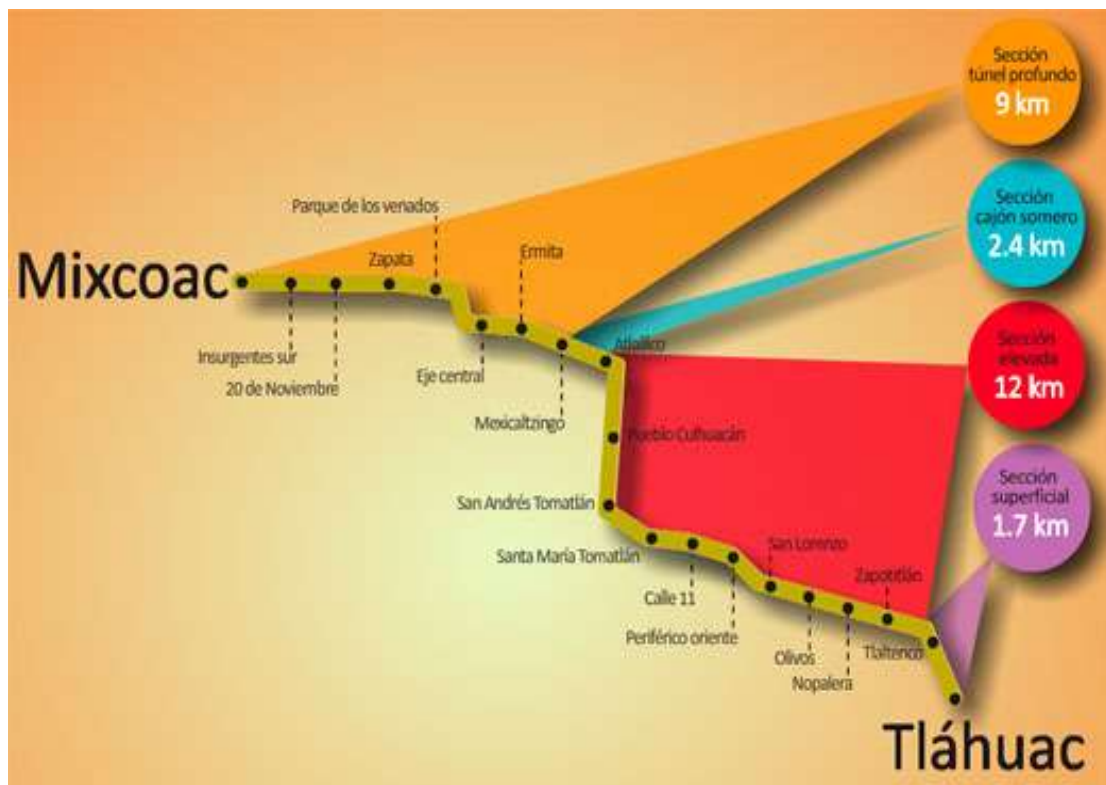


Figura 2. Tipos de tramo en la Línea 12. Fuente: STC, 2011.

³ Botero Eduardo, Méndez Bogart, Romo P. Miguel. "Evaluación de los movimientos sísmicos incoherentes en estructuras lineales", Memorias XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Publicación SMMS, Acapulco, Gro. 2010.

Es por ello, que el presente trabajo de investigación recopila y describe de manera muy general el proceso constructivo del viaducto elevado en la más reciente Línea del Metro de la Ciudad de México dentro de los cadenamientos 14+633.456 al 15+997.373, esto con base en normas, especificaciones y procedimientos editados por el Consorcio Línea 12 y el Proyecto Metro del Distrito Federal.

El desarrollo del trabajo consiste en cinco capítulos, el primero de ellos comprende los antecedentes históricos donde se describe la importancia de este medio de transporte después de 42 años de surgimiento y operación en la capital, su construcción y crecimiento, la red existente con la que se cuenta y la nueva línea que llega para complementar el Sistema de Transporte Colectivo Metro. En el segundo capítulo se habla de los estudios preliminares realizados para la planeación y ejecución de la obra, como lo es el trazo de la línea y su estratigrafía, obra inducida, las soluciones de cimentación y estructura. En el tercer capítulo se mencionan las características de la estructura, donde se describe el proyecto arquitectónico y el estructural del viaducto elevado. Llegando al cuarto capítulo se dan las especificaciones y procedimientos a seguir para la construcción del viaducto elevado partiendo desde su cimentación hasta la colocación de vías. Finalmente en el capítulo quinto se dan las conclusiones del trabajo y se proponen algunas recomendaciones para llevar a cabo dentro del procedimiento constructivo de una obra civil semejante a la de éste estudio.

CAPÍTULO I
ANTECEDENTES HISTÓRICOS

1.1 EL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

El Sistema de Transporte Colectivo (Metro) de la Ciudad de México es la columna vertebral del transporte en el Distrito Federal, ya que se encarga de proyectar, construir y operar la red del metro que está conformada por 11 líneas, 10 de rodadura neumática y 1 de rodadura férrea, 175 estaciones y una longitud total construida de 201.388 Kilómetros.

El metro es uno de los sistemas de transporte más importantes que desde 1969, cuando entró en operación, fue la obra más grande en la historia del país.

En 2006 ocupó el tercer lugar a nivel mundial en captación de usuarios al transportar a un promedio de 3.9 millones de pasajeros al día, de igual forma se alcanzó el quinto lugar a nivel mundial por la extensión de su red.



Figura 3. Metro Línea 12

1.2 INAUGURACIONES Y AMPLIACIONES EN ORDEN CRONOLÓGICO.

Línea	Estaciones inauguradas	Estaciones acumuladas a la red	Tramo inaugurado	Fecha de inauguración	Longitud (km) Inaugurada	Longitud (km) Acumulada (Línea)	Longitud (km) Acumulada (Red)
1	16	16	Zaragoza-Chapultepec	4 Dic. de 1969	12.660	12.660	12.660
1	1	17	Chapultepec-Juanacatlán	11 Abr. de 1970	1.046	13.706	13.706
2	11	28	Pino Suárez-Tasqueña	01 Ago. de 1970	11.321	11.321	25.027
2	11	39	Tacuba-Pino Suárez	14 Sep. de 1970	8.101	19.422	33.128
1	1	40	Juanacatlán-Tacubaya	20 Nov. de 1970	1.140	14.846	34.268
3	7	47	Tlatelolco-H. General	20 Nov. de 1970	5.441	5.441	39.709
1	1	48	Tacubaya-Observatorio	10 Jun. de 1972	1.705	16.551	41.414
3	1	49	La Raza-Tlatelolco	25 Ago. de 1978	1.389	6.830	42.803
3	3	52	Indios Verdes-La Raza	01 Dic. de 1979	4.901	11.731	47.704
3	1	53	H. General-Centro Médico	07 Jun. de 1980	0.823	12.554	48.527
3	4	57	Centro Médico-Zapata	25 Ago. de 1980	4.504	17.058	53.031
4	7	64	Candelaria-Martín Carrera	29 Ago. 1981	7.499	7.499	60.530
5	7	71	Consulado-Pantitlán	19 Dic. 1981	9.154	9.154	69.684
4	3	74	Santa Anita-Candelaria	26 May. de 1982	3.248	10.747	72.932
5	3	77	La Raza-Consulado	01 Jul. de 1982	3.088	12.242	76.020
5	3	80	Politécnico-La Raza	30 Ago. de 1982	3.433	15.675	79.453
3	5	85	Zapata-Universidad	30 Ago. de 1983	6.551	23.609	86.004
6	7	92	El Rosario-Inst. del Petróleo	21 Dic. de 1983	9.264	9.264	95.268

Inauguraciones y ampliaciones en orden cronológico (Cont.)							
Línea	Estaciones inauguradas	Estaciones acumuladas a la red	Tramo inaugurado	Fecha de inauguración	Longitud (km) Inaugurada	Longitud (km) Acumulada (Línea)	Longitud (km) Acumulada (Red)
1	1	93	Pantitlán-Zaragoza	22 Ago. de 1984	2.277	18.828	97.545
2	2	95	Cuatro Caminos-Tacuba	22 Ago. de 1984	4.009	23.431	101.554
7	4	99	Tacuba-Auditorio	20 Dic. de 1984	5.424	5.424	106.978
7	2	101	Auditorio-Tacubaya	23 Ago. de 1985	2.730	8.154	109.708
7	4	105	Tacubaya-Barranca del Muerto	19 Dic. de 1985	5.040	13.194	114.748
6	4	109	Inst. del Petróleo-M. Carrera	08 Jul. de 1986	4.683	13.947	119.431
9	9	118	Pantitlán-Centro Médico	26 Ago. de 1987	11.669	11.669	131.100
9	3	121	Centro Médico-Tacubaya	29 Ago. de 1988	3.706	15.375	134.806
7	4	125	El Rosario-Tacuba	29 Nov. de 1988	5.590	18.784	140.396
A	10	135	Pantitlán-La Paz	12 Ago. de 1991	17.192	17.192	157.588
8	19	154	Garibaldi-Constitución de 1917	20 Jul. de 1994	20.078	20.078	177.666
B	13	167	Villa de Aragón-Buenavista	15 Dic. de 1999	12.139	12.139	189.805
B	8	175	Ciudad Azteca-Nezahualcóyotl	30 Nov. del 2000	11.583	23.722	201.388
R E D	-	175		-	-	-	201.388

Fuente: STC, 2011

1.3 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS EN LINEAS ANTERIORES DEL METRO.

Las 11 líneas existentes de la red del metro han sido edificadas bajo distintos métodos constructivos como se enuncian a continuación:

Línea 1.- Procedimiento de excavación a cielo abierto para alojar la sección de cajón subterráneo.

Línea 2.- Procedimientos de excavación a cielo abierto para sección de cajón superficial o tipo “U” y sección de cajón subterráneo.

Línea 3.- Procedimiento de excavación a cielo abierto para sección de cajón subterráneo.

Línea 4.- En ésta línea se implementa el sistema de viaducto elevado, compuesto por pilotes de fricción.

Línea 5.- Procedimiento constructivo de excavación a cielo abierto para sección cajón superficial y subterráneo.

Línea 6.- Procedimiento de excavación a cielo abierto para sección de cajón subterráneo.

Línea 7.- En ésta línea se implementa el procedimiento de túnel profundo con dovelas utilizando escudo EPB.

Línea 8.- Procedimiento de excavación a cielo abierto para sección cajón superficial y cajón subterráneo.

Línea 9.- Ésta línea utiliza 3 procedimientos constructivos, viaducto elevado con traveses prefabricados, cajón subterráneo y túnel con escudo.

Línea A.- La línea de rodadura férrea, alimentada por el sistema de catenaria. Utiliza el sistema de cajón superficial y cajón subterráneo.

Línea B.- Ésta línea utiliza el sistema de cajón subterráneo, viaducto elevado con elementos prefabricados y cajón superficial.



Figura 4. Troquelamiento de los muros en tramo sección cajón subterráneo.
Fuente: Grupo ICA 1997.



Figura 5. Sección cajón superficial. Fuente: Grupo ICA, 1997.



Figura 6. Sección túnel con escudo en línea 3. Fuente: Grupo ICA, 1997.



Figura 7. Viaducto elevado en línea B del metro. Fuente: Grupo ICA, 1997.

1.4 LA PRIMERA LÍNEA ELEVADA DEL METRO.

La primera línea del metro en implementar el procedimiento constructivo de sección elevada fue la línea 4, que corre de Martín Carrera a Santa Anita.

El corte estratigráfico que se presenta a lo largo de esta línea, se puede resumir de la siguiente manera: depósitos de suelos formados por grandes espesores de materiales de alta compresibilidad y baja resistencia al corte con intercalaciones de estratos de poco espesor, pero de mayor resistencia y muy baja compresibilidad, presencia de hundimiento diferencial y acción sísmica sobre las estructuras a cimentar.

En éstas condiciones, el tipo de cimentación diseñado, es el que en nuestro ambiente geológico ha demostrado su bondad y que está conformado por pilotes de fricción rematados en su parte superior, por una losa que posee capacidad para tomar presiones de contacto.

Las estructuras elevadas bajo este criterio han demostrado su bondad en el comportamiento, aún bajo condiciones tan severas como los sismos de septiembre de 1985; sin embargo, uno de los aspectos que ha demostrado la necesidad de herramientas más detalladas para la evaluación del comportamiento de estas cimentaciones, es la determinación de la capacidad de carga de las lentes intercaladas, que en ocasiones han generado un comportamiento diferencial con respecto al terreno circunvecino.

1.4.1 DISEÑO ESTRUCTURAL

La estructura de tramo está resuelta mediante traveses postensados de sección cajón colado en sitio, con longitud de 35 m. Las traveses se apoyan sobre un eje central de columnas, que tienen por objeto proporcionar el mayor número de carriles en la sección de la vialidad coincidente con la línea. Se utilizan apoyos de neopreno para transferir las cargas de las traveses a las columnas. Se considera siempre que en uno de los extremos de la trabe, el apoyo debe ser articulado y en el otro simple.

Se prevén separaciones en todas las traveses para colocar gatos hidráulicos planos entre trabe y columna para un eventual cambio de neoprenos en apoyos durante la vida de la estructura, así como para colocar

cables de presfuerzo adicionales, que puedan requerirse en caso de una relajación excesiva del acero de presfuerzo original.

Debido a que la totalidad de la estructura se ubica dentro de la zona III (terreno compresible), según la clasificación del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y considerando la importancia que reviste el hundimiento regional del Valle de México, la cimentación está resuelta mediante zapatas con pilotes de fricción de dimensiones tales que siguen en hundimiento regional. En las esquinas de las zapatas se prevén preparaciones para utilizar pilotes de control, en caso necesario.⁴

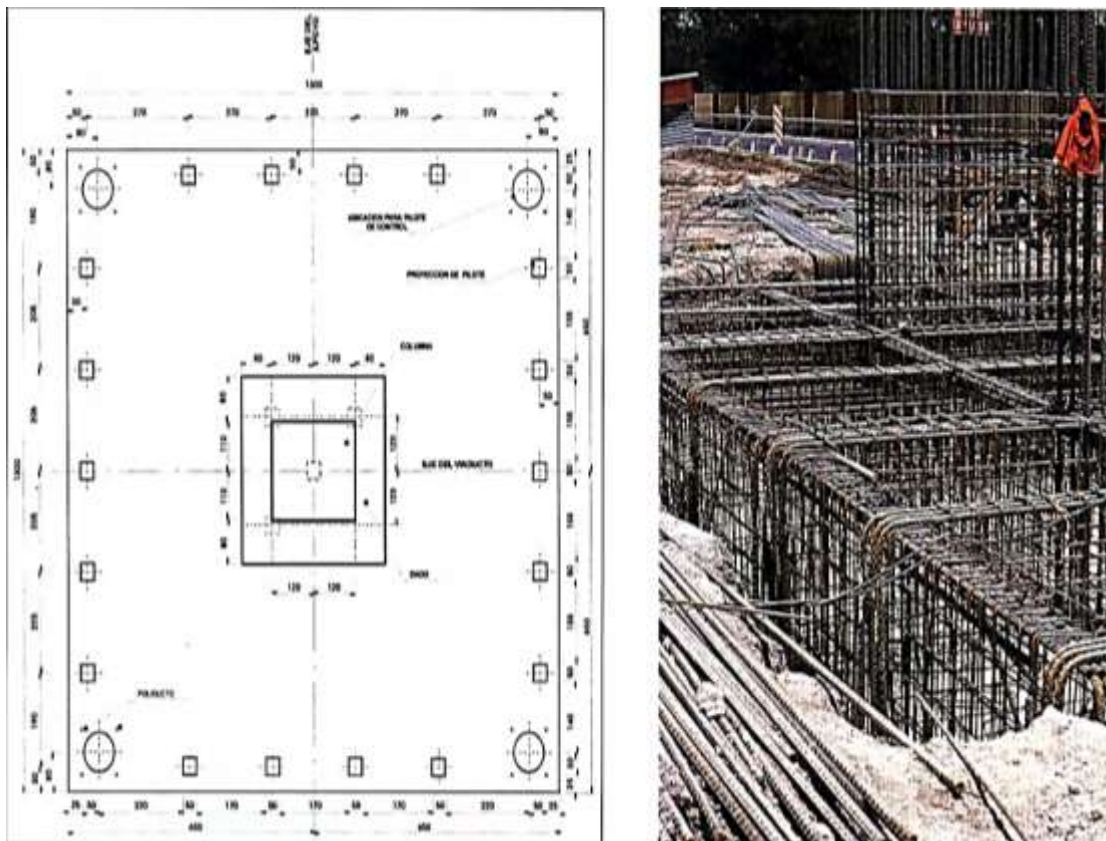


Figura 8. Zapata de una columna en tramo. Fuente: Grupo ICA, 1997.

⁴ Empresas ICA. "Treinta Años de Hacer el Metro. Ciudad de México", Ed. Espejo de Obsidiana, México, 1997.

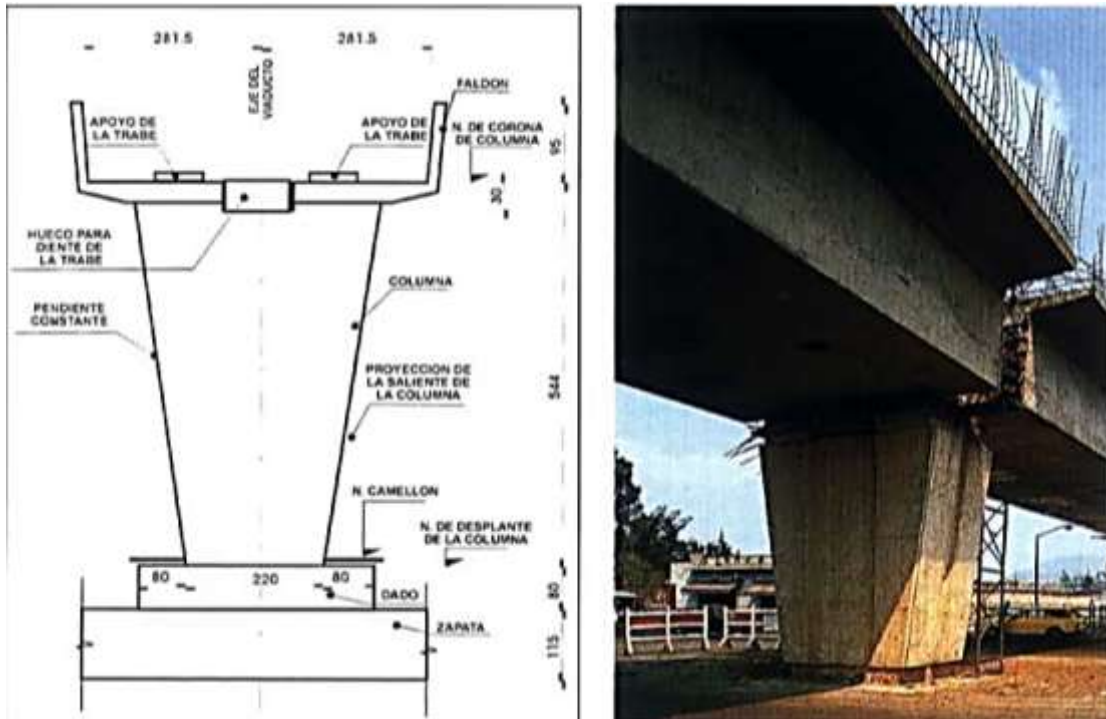


Figura 9. Columna en tramo y apoyo de dos columnas. Fuente: Grupo ICA, 1997.

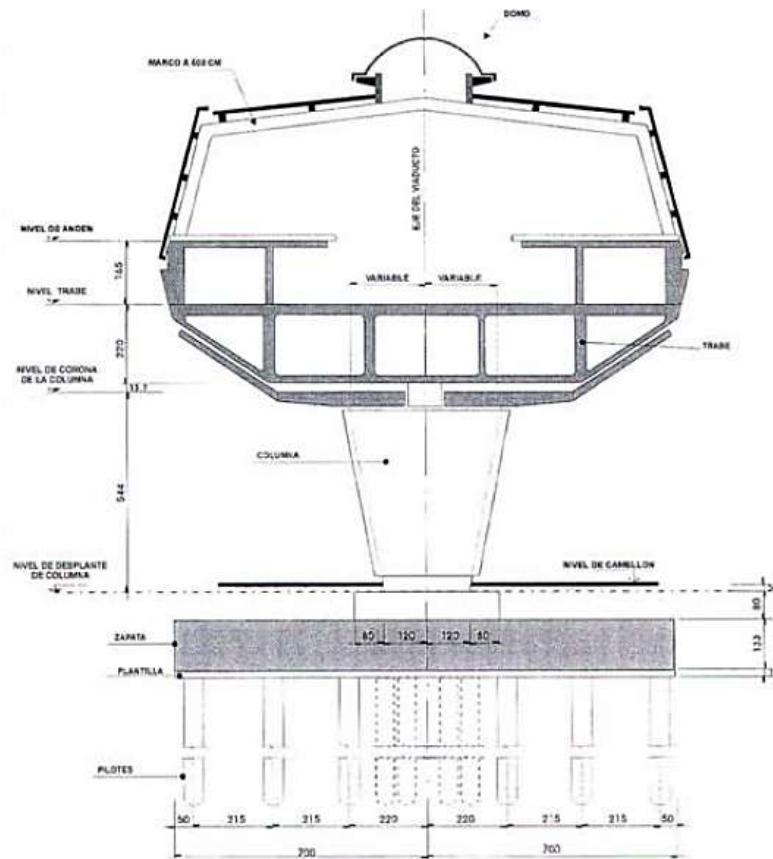


Figura 10. Estructura en tramo. Fuente: Grupo ICA, 1997.

El análisis estructural de las trabes se realiza considerándolas como estructuras isostáticas libremente apoyadas en las columnas. Se analizan en sentido longitudinal y en el transversal, considerando las diferentes posiciones de los trenes para producir los esfuerzos más desfavorables para cada sección.

La estimación de las fuerzas sísmicas a las que se sujeta la estructura, se realiza mediante los análisis estático y dinámico, de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, considerando las posiciones más críticas de los trenes para las distintas combinaciones de carga.

Las columnas se diseñan para la acción combinada de carga axial y flexión en dos direcciones, así como fuerza cortante, provocadas por la acción de la combinación de cargas muerta, vivas y sismo consideradas en el análisis. Debido a que la columna está en voladizo, se toma en cuenta el incremento de esfuerzos por esbeltez.⁴

1.5 AMPLIACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED DEL METRO.

Gracias al Plan Maestro del Metro de 1985 y al Programa General de Desarrollo del Distrito Federal 2007-2012, se anuncia la construcción de una nueva línea del metro, denominada *Línea 12, Línea del Bicentenario*. Dicha línea correrá de oriente a sur la Ciudad de México; desde la estación Tláhuac a la estación Mixcoac, considera 1.7 kilómetros en tramo superficial, 12

kilómetros en tramo elevado, 2.4 kilómetros en tramo cajón subterráneo y 9 kilómetros en tramo de túnel profundo.

La demanda estimada es superior a los 367,000 pasajeros diarios en día laborable, con lo cual la Línea 12 pasará a ocupar el cuarto lugar de la Red de Metro, misma que podrá alcanzar los 450,000 con el ordenamiento del transporte colectivo y la redistribución de viajes locales y regionales.¹

Los estudios y análisis base del propósito son:

1. Estudio de prefactibilidad de Línea 12 (2000-2002)
2. Estudio para proyecto de Metrobús en los corredores: Tláhuac-Tasqueña y Santa Martha-Mixcoac (Eje 8 Sur) 2002-2004.
3. Análisis de sensibilidad de la demanda con el EMME/2 (2007)
4. Encuesta de origen y destino 1994.
5. Encuesta de movilidad a 475,000 usuarios en la Red (2007)
6. Encuesta de aceptación organizadas en el presente año, por los jefes delegacionales.
7. Consulta Verde, con una participación mayor a las 1,033,000 personas.
8. Actualización del Estudio de Demanda para la Línea 12 Tláhuac – Mixcoac.

1.5.1 OBJETIVOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 12.

1.- Brindar servicio de transporte masivo de pasajeros en forma rápida, segura, económica y ecológicamente sustentable a los habitantes de siete delegaciones:

- Tláhuac
- Iztapalapa
- Coyoacán
- Benito Juárez
- Xochimilco (desde Tulyehualco)
- Milpa Alta
- Álvaro Obregón

2.- 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.

1.5.2 DELEGACIONES BENEFICIADAS.

- Iztapalapa: La más poblada
- Tláhuac: Con el mayor índice demográfico
- Coyoacán y Benito Juárez: Con importantes índices de saturación vial
- Xochimilco: Comunicación adicional al centro por Tulyehualco
- Milpa Alta: Comunicación directa al CETRAM Tláhuac por Tecomitl

1.5.3 BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 12.

- **Vialidades:** Construcción de vialidades conforme a un proyecto integrado en la zona de influencia para reforzar el transporte público y evitar la competencia excesiva con la nueva línea del Metro (puentes vehiculares y peatonales, ampliaciones, adecuaciones geométricas, nueva señalización horizontal y vertical e instalación de semáforos).
- **Ciclovías y estacionamientos:** Incorporación de facilidades al uso de la bicicleta en el diseño de estaciones y vialidades relacionadas.
- **Nuevo diseño de estaciones:** Incorporación de escaleras eléctricas, salvaescaleras, bandas transportadoras, torniquetes mixtos (con capacidad para lectura de boletos unitarios y tarjetas electrónicas); baños y accesibilidad total a personas con discapacidad.
- **Desarrollo urbano, ecológico y turístico en la zona de influencia:** Mejoramiento y ampliación de la capacidad del drenaje existente, especialmente en áreas de inundaciones.
- Ampliación del área de reserva ecológica en la zona con el posible desarrollo de un centro de conservación y turismo ecológico.
- **Equipamiento para la seguridad pública,** incorporando vigilancia en las instalaciones y mejorando la iluminación en la zona de influencia.¹

1.5.4 RENTABILIDAD SOCIAL DE LA INVERSIÓN.

1. Se logrará aplicar una alta inversión pública a la solución de problemas de transporte existentes en el sur de la Ciudad, en los

recorridos de oriente a poniente de aproximadamente trece mil doscientos millones de pesos.

2. Se disminuirá el tiempo excesivo de transportes por falta de infraestructura y congestión vial (al sur-oriente opera a nivel "F" o saturación a mayor parte del día); hasta en 2 horas y media por día.
3. Se logrará generar un importante ahorro, por el alto gasto de transporte cotidiano de las familias de bajos ingresos (\$13.50 diarios por persona).
4. Con la entrada en operación de la Línea 12, este gasto disminuirá hasta en \$9.50 diarios por persona en viajes al centro de la Ciudad.
5. Se disminuirá la contaminación del ambiente por emisiones de gases y ruido que desprenden los vehículos de combustión.¹

1.5.5 BENEFICIO SOCIAL Y ECONÓMICO.

1. Se ofrecerá un servicio de transporte rápido, eficiente, ambientalmente limpio, económico y seguro.
2. Se mejorará la calidad de vida de la población, sobre todo de la región sur-oriente de la Ciudad de México.
3. Se aumentará la productividad de la Ciudad al reducir el tiempo de transporte hasta en una hora quince minutos, desde la terminal sur-oriente al centro del D.F. por persona.
4. Se ampliará el tiempo disponible para otras actividades de individuos y familias beneficiadas.

5. Se transformará el entorno vial y urbano actual hacia áreas de convivencia urbana.

1.5.6 BENEFICIOS AMBIENTALES

Dentro de los beneficios más importantes destacan los siguientes.⁵

1. Reducción de 21,700 toneladas de carbono por año.
2. Ahorro del 11% de energía eléctrica.
3. Planta de tratamiento de aguas residuales y aceitosas.
4. Respeto al suelo urbano, arquitectónico y de conservación.
5. Reducción de uso vehicular.

El 20 de junio de 2008, el Sistema de Transporte Colectivo presentó la Manifestación de Impacto Ambiental Específica (MIAE), para el proyecto integral de la Línea 12 del Metro Tláhuac – Mixcoac, ante la Secretaría del Medio Ambiente (folio de ingreso 18235/2008).

El 29 de agosto de 2008, la Secretaría del Medio Ambiente emite el resolutivo SMA/DGRA/DEIA/005417/2008, de la autorización parcial condicionada en materia de impacto ambiental al Sistema de Transporte Colectivo para la construcción y operación de la Línea 12 del Metro Tláhuac - Mixcoac.¹

⁵ Artículo publicado en <http://www.cicm.org.mx/2030/CICM23febrero2011.pdf> por CICM.

1.5.7 EFICIENCIA.

- La inversión en Metro detonará otros proyectos públicos y privados en la Ciudad.
- Se reducirá de dos horas a 45 minutos el tiempo de viaje desde la terminal sur-oriente al centro de la Ciudad, por las demoras acumuladas producto de la ineficiencia de servicios de transporte colectivo.
- Se ofrecerán diversas opciones de conexión del sur-oriente con las principales zonas de servicios, empleo, educación y recreación de la Ciudad de México.¹

1.6 ASPECTOS RELEVANTES DEL PROYECTO.

1.6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y OPERATIVAS.

- 24.5 Kilómetros de Línea.
- 20 Estaciones.
- 28 Trenes (al inicio de la operación intervalo de 3.9 minutos).
- 35 Trenes (intervalo mínimo de 2.5 minutos en horas pico).
- Mínima distancia en transbordos.
- Alternativas de integración de comercio formal e informal en terminales, estaciones y aledaños.
- Posibilidad de desarrollo inmobiliario en terminales y estaciones.
- Preparaciones para continuidad de la Red.

- Reordenamiento del transporte en el corredor y puntos de transferencia.
- Infraestructura planeada considerando necesidades de operación y mantenimiento de la Línea.
- Programa de desvíos de tránsito por la construcción de obras.
- Áreas de estacionamiento para bicicletas en terminal Tláhuac y estaciones.
- Diseño de ciclovías a lo largo de la ruta.¹

1.6.2 CONECTIVIDAD AL SUR-ORIENTE.

- Recorrido: Inicia en Tláhuac y avanza por la avenida del mismo nombre hasta Calzada Ermita, donde el trazo se prolonga sobre Eje 8 Sur hasta salir a División del Norte; dará vuelta hacia el Norte hasta el Parque de los Venados, para continuar hacia el poniente en Eje 7 Sur y finalizar en Mixcoac.
- 4 nuevas estaciones de correspondencias:
 - Atlalilco: Línea 8 (Garibaldi – Constitución de 1917)
 - Ermita: Línea 2 (Tasqueña – Cuatro Caminos)
 - Zapata: Línea 3 (Indios Verdes – Universidad)
 - Mixcoac: Línea 7 (El Rosario – Barranca del Muerto)
- Para primer transbordo ofrece 7 líneas y 15 estaciones de enlace directo: Salto del Agua, Pino Suárez, Balderas, Tacubaya, Chabacano, Bellas Artes, tacuba, Hidalgo, Santa Anita, La Raza,

Deportivo 18 de Marzo, El Rosario, Centro Médico, Garibaldi y Guerrero.

- Conexión con: Tren Ligero, Metrobús Insurgentes, Terminal de Autobuses del Sur y próximamente con Metrobús Xola.
- La Línea mejorará el desempeño de toda la Red del Metro, aumentará la conectividad de las Líneas 8, 2, 3 y 7 en el sur de la Ciudad de México.

1.6.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Trenes:

1. De rodada férrea
2. De 8 vagones cada uno
3. 28 trenes (al inicio de la operación intervalos de 3.9 minutos)
4. 35 trenes (intervalo mínimo de 2.5 minutos en horas pico)

Electromecánica:

1. Puesto de Control de Línea: (PCL)
2. Subestaciones de Rectificación: 14 en línea, 1 en talleres, 1 en plataforma de 4000kw.
3. Alimentación de energía eléctrica: en alta tensión 230 KVA (tarifa HT)
4. Tracción: Línea elevadiza de contacto (catenaria) de 1500 vcc
5. Videovigilancia: basada en CCTV con cámaras vía red (IP) y análogas.¹

1.7 ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS PARA LA LINEA 12.

ACTIVIDADES	AVANCE FÍSICO	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO
Actualización de la demanda (1)	Concluido	1 de Nov de 2007	1 de Abr de 2008
Estudios de exploración geotécnica	Concluido	29 de Oct de 2007	25 de Mar de 2008
Estudio para la detección de interferencias	Concluido	29 de Oct de 2007	26 de Feb de 2008
Ingeniería básica, proyecto operativo, especificaciones y estudio de Impacto Ambiental.	Concluido	29 de Oct de 2007	30 de Jun de 2008
Estudios para la detección de grietas (2) y fisuras del Subsuelo del Tramo Vía Láctea-Tláhuac de la Línea 12.	Concluido	1 de Jul de 2008	31 de Ago de 2008
Estudios de Geofísica para la detección de estratos resistentes del subsuelo en el tramo Vía Láctea-Tláhuac de la Línea 12, con la Técnica denominada Radar de Penetración Terrestre (RODAR)	Concluido	7 de Ago de 2008	6 de Sep de 2008
Estudio de Impacto Urbano (3) para la construcción de la Línea 12.	Concluido	13 de May de 2008	12 de Sep de 2008
Estudios de Geofísica (4) en cualquiera de sus modalidades para la detección de estratos resistentes del subsuelo tramo Vía Láctea-Tláhuac de la Línea 12, con las técnicas denominadas, sondeos eléctricos verticales (SEV,s), y refracción sísmica, además de la interpretación e informe concentrador de resultados.	Concluido	1 de Jul de 2008	31 de Ago de 2008

Fuente STC

Notas:

(1) Actualización de la demanda elaborado por el Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales (CIECAS) del Instituto Politécnico Nacional.

(2) Estudios para la detección de grietas elaborado por Instituto de Ingeniería de la UNAM.

(3) Estudio de Impacto Urbano elaborado por El Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad (PUEC) de la UNAM.

(4) Estudios de Geofísica elaborado por la Escuela Superior de Ingeniería ESIA Ticomán del Instituto Politécnico Nacional.

1.8 LOCALIZACIÓN

SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO

Red del Metro



1.9 OBJETIVOS.

1. Dar a conocer los procedimientos constructivos a seguir para la ejecución de una obra civil como la del viaducto elevado de la Línea 12 del Metro.
2. Mencionar aspectos de diseño para estructuras, procesos y estudios implementados en obras del Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México.
3. Proponer recomendaciones para su aplicación dentro del proceso constructivo de una obra civil semejante a ésta.

CAPÍTULO II
ESTUDIOS PRELIMINARES

2.1 ZONIFICACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Sin duda alguna, la Ciudad de México posee de los suelos más difíciles del mundo. Basados en una gran cantidad de sondeos realizados a diferentes profundidades y en distintas zonas, los profesores Marsal y Mazari (1959) definieron tres zonas en la Ciudad de México: la zona de Lomas, la zona de Transición y la zona de Lago, que con ligeras modificaciones sigue siendo la zonificación actual.

La zona de Lomas (Zona I) está conformada por tobas volcánicas y rocas intemperizadas, tiene topografía poco uniforme, no existe la presencia de arcillas, y el N.A.F. se encuentra a profundidades mayores, es una zona con suelos de alta resistencia y baja compresibilidad.

La zona de Transición (Zona II) es material predominantemente arenoso, el espesor de las arcillas es menos a los 20 cm, el N.A.F. se encuentra de 3 a 6 metros de profundidad, es un suelo heterogéneo, existe la posibilidad de encontrar hundimientos diferenciales.

Las características de la zona de Lago (Zona III) son arcillas lacustres de baja resistencia y alta compresibilidad, N.A.F. (Nivel Freático de Agua) superficial, espesores de arcilla mayores a 20 cm.⁶

⁶ Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del D.F. CICM

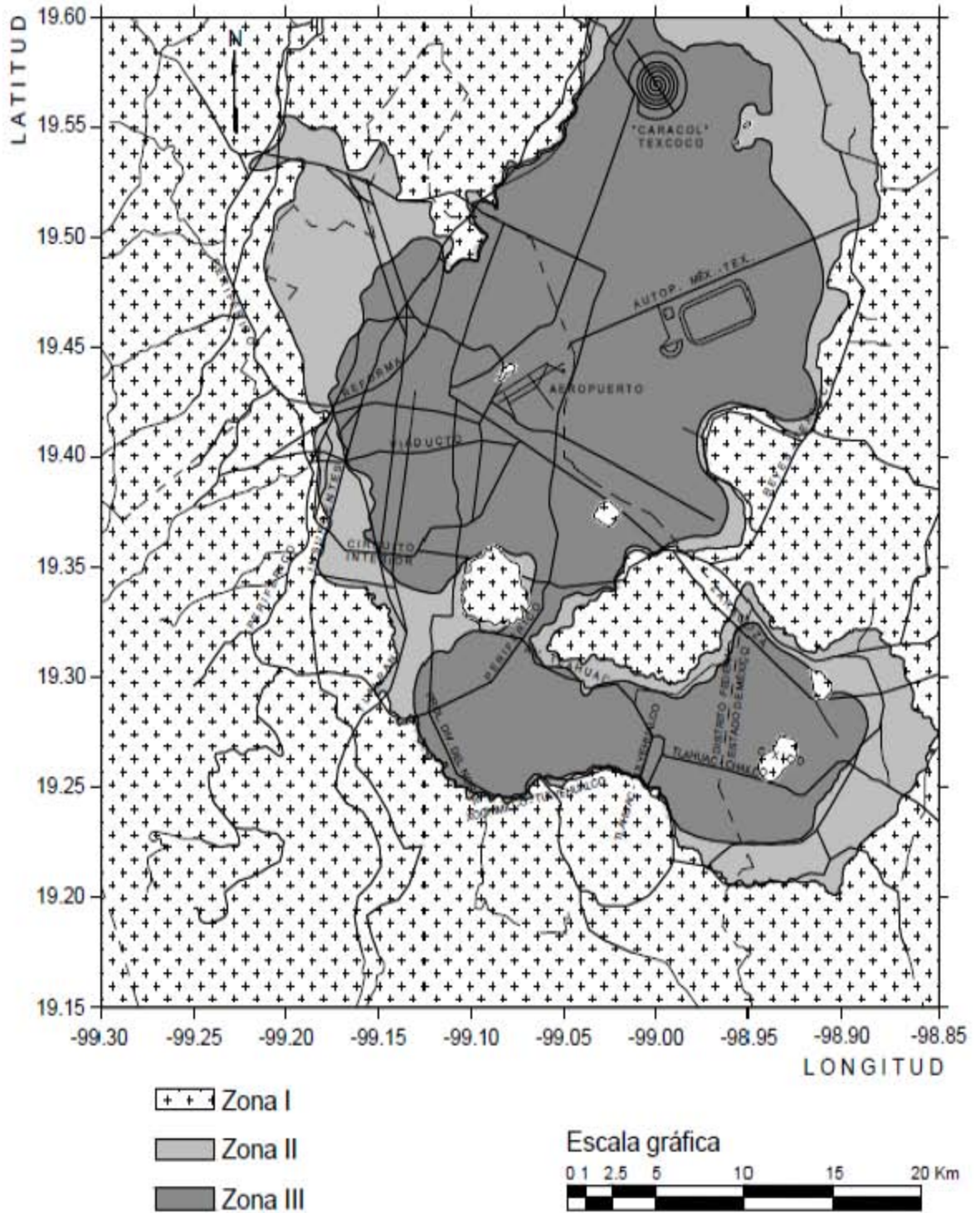


Figura 11. Zonificación del Valle de México. Fuente: NTC.

2.2 TRAZO DEL VIADUCTO ELEVADO.

El trazo del viaducto elevado en estudio contempla dos estaciones; San Andrés Tomatlán y Santa María Tomatlán y un intertramo que une ambas estaciones, las cuales se localizan dentro de las zonas I y II; de lomas y la de transición, respectivamente.

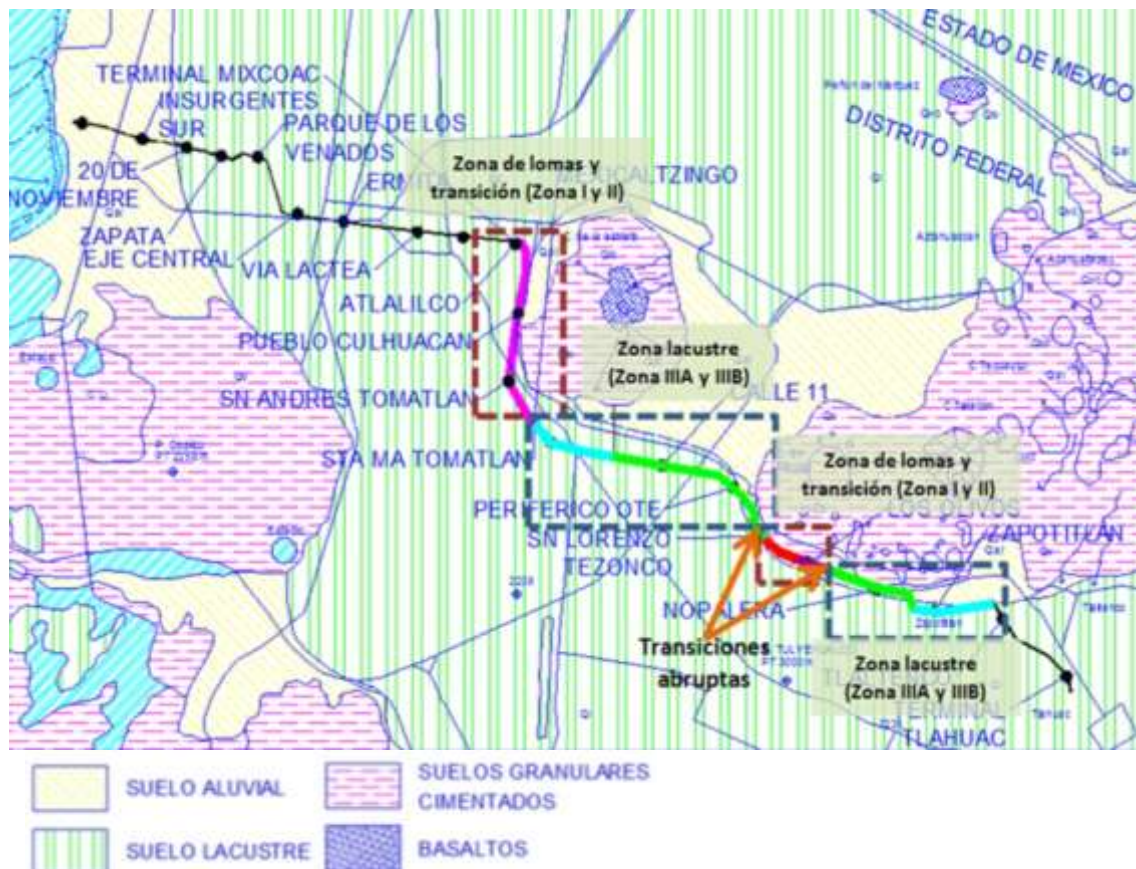


Figura 12. Distribución espacial de las soluciones de cimentación en el viaducto elevado de la Línea 12. Fuente: Revista IC, 2011.

2.3 OBRA INDUCIDA.

La obra inducida se define como el desvío de servicios que interfieren con la construcción del viaducto elevado de la línea 12 y que deben de ser reacomodados, tales como drenaje, agua potable, teléfono, luz, gas, etc.

Las obras inducidas son generadas por la construcción de otras obras, siendo éstas siempre en las instalaciones existentes. Así, por ejemplo, la construcción del Sistema de Transporte Colectivo Metro, origina a su paso obras inducidas (cruzamientos) en prácticamente todos los servicios de la ciudad.⁷

Las obras inducidas son por lo general ejecutadas por el propietario o por el responsable del servicio, como es el caso de la CFE, TELMEX, PEMEX, etc. Para el caso de líneas de agua ya sea potable o de drenaje, los trabajos de desvío corren a cargo de la empresa constructora y verificados por personal calificado de las dependencias gubernamentales para su liberación.

En ocasiones una interferencia puede ser la afectación de la vía pública, como el caso de afectar una vialidad, un camellón, un jardín, un puente peatonal, etc. Así como también propiedades particulares que se ubiquen cerca o dentro de la obra a construir.

Las interferencias que se encontraron en el trazo del viaducto elevado fueron: un camellón, un puente peatonal, un colector de Ø72" de aguas negras que corre a lo largo de la Avenida Tláhuac, ductos de telefonía y fibra óptica, cableado de trolebús, y una línea de alta tensión.

⁷ Frías Hernández Enrique, Tesis Profesional. "Procedimiento constructivo de la estación Guerrero entre las cads. 22+635.392 al 22+797.392 del metropolitano línea B", 2001. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón. UNAM



Figura 13. Interferencia de puente peatonal.



Figura 14. Puente peatonal retirado.



Figura 15. Desvío de colector de Ø72”.



Figura 16. Desvío de ductos de telefonía y fibra óptica.



Figura 17. Interferencia de camellón sobre Av. Tláhuac.

2.3.1 INTERFERENCIAS CON LÍNEAS DEL METRO.

La línea 12 cruza con cuatro líneas de la red actual:

- Línea 7: Con correspondencia a Barranca del Muerto.
- Línea 3: Con correspondencia a Universidad.
- Línea 2: Con correspondencia a Tasqueña.
- Línea 8: Con correspondencia a Constitución de 1917.

2.4 DEFINICIÓN DE ESTRUCTURAS FACTIBLES POR TRAMO.

- a) Sección superficial.
- b) Sección elevada.
- c) Sección cajón somero.
- d) Sección túnel profundo.

a) Sección superficial:

Se desarrolla en una longitud de 1.7 km. Consiste en un cajón de concreto, abierto, con una losa de piso de 50 cm de espesor y dos muros laterales.

b) Sección elevada:

La solución elevada se realiza en un tramo de 12 km y se logra mediante una infraestructura a base de pilas de cimentación, celdas estructuradas, y pilotes de fricción según la zona geotécnica. Las estaciones San Andrés Tomatlán y Santa María Tomatlán alojadas entre los cadenamientos 14+633.456 al 15+997.373 a las cuales se avocará este estudio, están ubicadas dentro de la zona de lomas con el 90% y de transición con el 10%, para lo cual las pilas de cimentación de 80 cm de diámetro fueron la solución de cimentación elegida. Sobre esta infraestructura se desplantan las piezas prefabricadas zapata-columna-capitel para después soportar las trabes W, y sobre de ellas las instalaciones de vía del metro.

c) Sección cajón somero:

El túnel somero se aplica en una longitud de 2.4 km desde la estación Atlalilco hasta la estación Mexicaltzingo. Consiste en un cajón rectangular cuyo desplante está a una profundidad variable entre 9 y 15 m. Se logra construyendo dos tablaestacas coladas en sitio, que sirven para soportar el terreno, posteriormente se realiza la excavación a cielo abierto y se

construye una losa de fondo con el arranque de los muros laterales; después, se termina el resto de los muros junto con la losa de techo y luego se rellena para restituir la vialidad con pavimento.

d) Sección túnel profundo:

Se desarrolla en una longitud de 9 km hasta su estación terminal Mixcoac. En éste método se utiliza la tuneladora de escudo mejor conocida como “La Rielera”. Se encarga de perforar los suelos rocosos mientras va retirando el material demolido mediante bandas mecánicas, y a su vez va colocando dovelas de concreto reforzado, para después alojar las vías del metro.

2.5 PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL VIADUCTO ELEVADO.

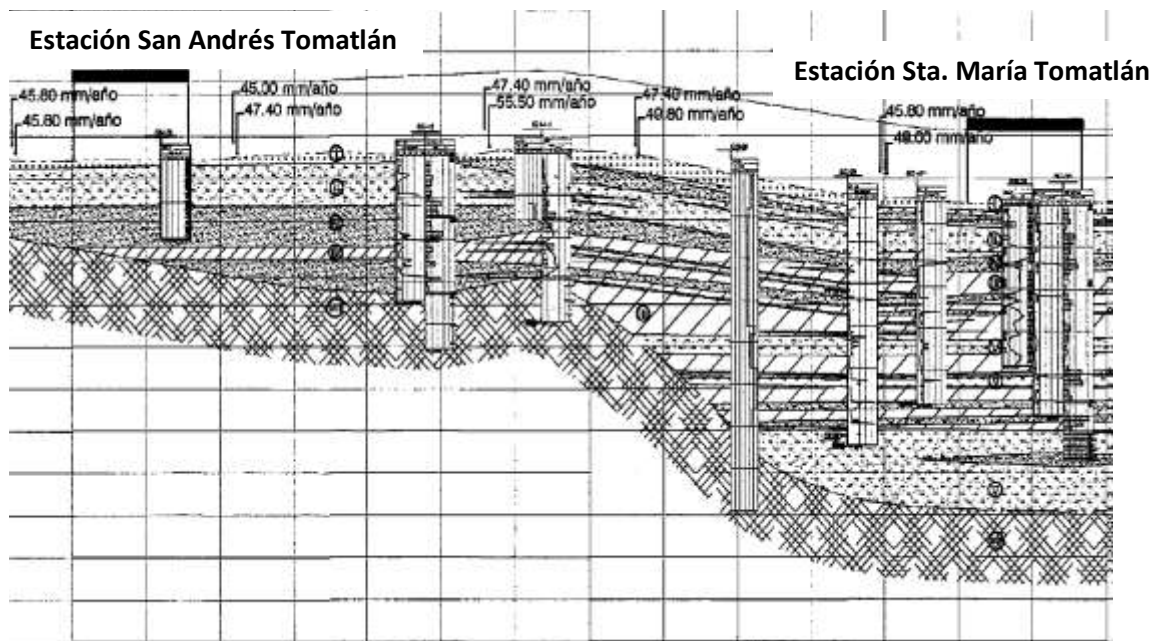


Figura 18. Perfil estratigráfico San Andrés Tomatlán-Santa María Tomatlán.

2.6 SOLUCIONES DE CIMENTACIÓN.

El proyecto de cimentación del viaducto está conformado de la siguiente manera:

	Características geotécnicas	Solución de la cimentación
Zona de lomas (Zona I)	Basalto superficial y semiprofundo	Zapata sobre roca, con relleno de concreto para nivelar la superficie de desplante de la cimentación.
	Bordes de colada	
	Material lacustre bajo el basalto	Cajón de cimentación parcialmente compensado con pilas de cimentación de Ø 0.80 m a 1.20 m.
	Transición abrupta	
Zona de transición (Zona II)	Zona de transición: Zona lacustre a roca basáltica	Cajón de cimentación parcialmente compensado con pilas de cimentación de Ø 0.80 m.
	Transición abrupta	Cajón de cimentación parcialmente compensado con pilas de cimentación de Ø 0.80 m o pilotes de fricción de longitud variable con inclusiones de materiales rígidos.
Zona lacustre (Zona III A)	Hundimiento regional diferencial	Celda estructurada
	Condiciones piezométricas irregulares	
	Suelos muy compresibles	
Zona lacustre (Zona III B)	Hundimiento regional diferencial	Cajón de cimentación con pilotes de fricción de longitud variable.
	Zona con potentes depósitos de arcilla altamente compresible	
	Comportamiento plástico	

Cuadro 1. Solución de la cimentación de acuerdo con las características geotécnicas.

2.7 ESTRUCTURA DEL TRAMO ELEVADO.

Se determinaron tres procedimientos para la construcción de columnas:

- Columnas coladas en sitio: Este procedimiento se utilizó principalmente en la zona de suelo lacustre del tramo elevado.
- Columnas metálicas: Esta solución fue el resultado del reto que significaba elevar el metro por encima del Periférico Oriente.
- Columnas prefabricadas: Procedimiento elegido, con el cual es posible incrementar rendimientos, al permitir trabajar simultáneamente en la cimentación y la construcción de la superestructura en la planta de prefabricados ubicada en el terreno destinado al Cetram (Centro de transferencia modal) desde la cual se fabricaron y distribuyeron las piezas prefabricadas utilizando concretos de alta resistencia $F'_c=600$ kg/cm²; las piezas prefabricadas constaron de zapata-columna-capitel para intertramos y para estaciones de zapata-columna.²

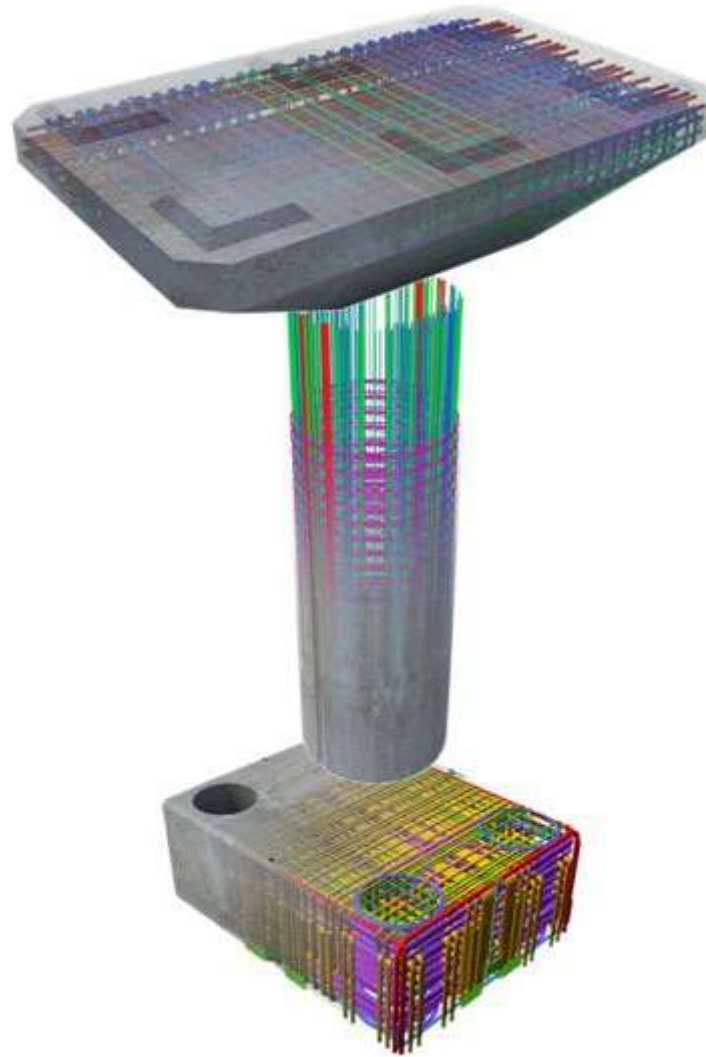


Figura 19. *Diseño de pieza prefabricada zapata-columna-capitel.*

Por otra parte, hubo dos procedimientos para la fabricación de las trabes que integran el tramo elevado, las cuales se apoyan en cabezales de soporte: trabes de acero con tabletas prefabricadas y trabes prefabricadas de concreto reforzado y presforzado.

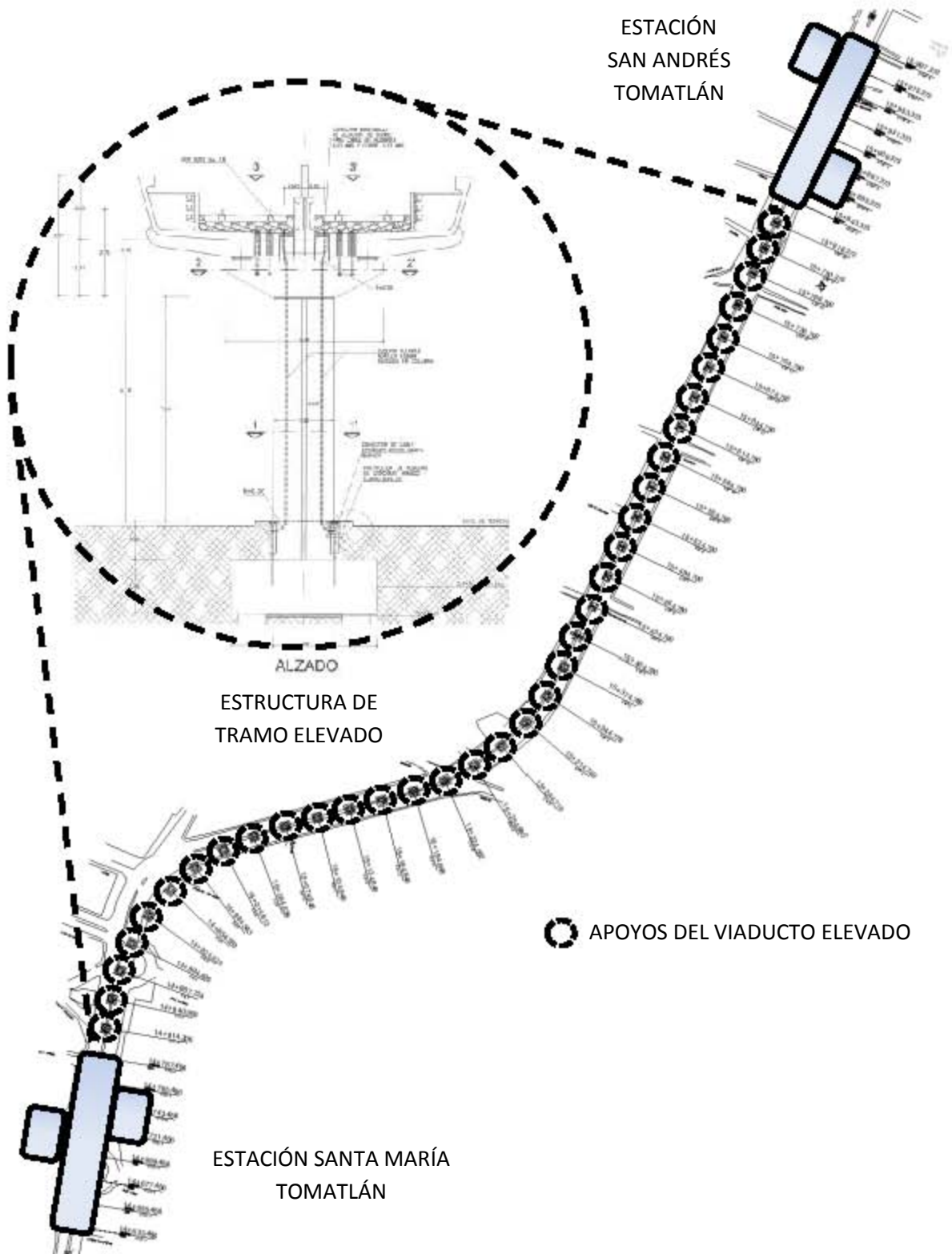
- Trabes con tabletas prefabricadas: La ejecución de este procedimiento consiste en montaje de perfiles de acero, montaje de tabletas de concreto y colado de losa de compresión in situ.

- Traveses prefabricados: Solución ocupada en la misma zona que las columnas prefabricadas. La sección de los traveses es de tipo W de más de 10 m de longitud transversal. Para hacer posible su transporte, se planteó la posibilidad de dividir la sección en dos traveses U, situación donde el equipo de Ingeniería encontró un nuevo reto para lograr que dichas traveses trabajaran monolíticamente. De este modo, se diseñó una conexión que fuera capaz de resistir flexión vertical, cortante vertical y torsión, que considera unión con placas metálicas, colado intermedio y pernos de sujeción.



Figura 20. *Diseño de pieza prefabricada Trabe W.*

2.8 DISTRIBUCIÓN DE APOYOS DE CIMENTACIÓN DEL VIADUCTO ELEVADO.



CAPÍTULO III
CARACTERÍSTICAS DE LA
ESTRUCTURA

3.1 PROYECTO ARQUITECTÓNICO.

El proyecto arquitectónico comprende el desarrollo de procesos de diseño como funcionamiento, imagen urbana, seguridad estructural, distribución y uso de espacios, ecología y medio ambiente así como la selección y utilización de materiales y tecnologías para la construcción de obra civil del metro.

El concepto funcional y el diseño arquitectónico de las estaciones están condicionados por las características constructivas de la línea; éstas a su vez, son determinadas por el entorno urbano, y por la oportunidad que se presenta para conformar un eje vial paralelo a la línea del metro.

El diseño crea un volumen armónico e impactante que cumple con la premisa establecida, de no interrumpir la visual a nivel de banqueta y por otra parte se logra una concepción formal que reduce la pesantez intrínseca del metro. Para lograr lo anterior se proyectan estaciones apoyadas en columnas a cada 22 metros sobre el eje de trazo, mismas que reciben, mediante un cabezal, las travesaños "U" postensadas que alojan las vías y andenes laterales; los muros y techo se resuelven mediante marcos de acero y cancelería.

Dos pasarelas perpendiculares a los andenes conectan con los accesos, resueltos en casetas en ambos lados del eje vial, estos elementos están compuestos a base de estructura metálica y muros de concreto aparente, con tragaluces en las fachadas para optimizar la luz natural y darle una faceta ecológica al aprovechar la luz del día.



Figura 21. Render de estación elevada.



Figura 22. Detalle de pasarela de cambio de andén.

El cambio de andén se realiza mediante dos pasarelas diseñadas para un tránsito reducido. Dichas pasarelas se ubican en las cabeceras de la estación elevada, sobre elevando la techumbre, ya que es necesario librar por arriba el gálibo de los trenes. Este criterio formal forma un prototipo para las 9 estaciones elevadas de la línea.

3.1.1 ACCESOS.

Están constituidos por escaleras convencionales, que desembocan en vestíbulos externos y su amplitud y número dependen de la afluencia pronosticada, se considera que 65 pasajeros suben por minuto en una franja de un metro, en la condición más desfavorable, cuando se presenta la evacuación de usuarios de la estación en caso de emergencia. Deben contar con puertas que permitan cerrar el acceso a la estación en horas fuera de servicio o en casos de emergencia.⁴



Figura 23. Puertas de acceso a la estación.

3.1.2 VESTÍBULOS.

Están antes o después de los controles, su función es distribuir al usuario en su tránsito por la estación hacia o desde los andenes a la calle, evitando lo posible los cruces de circulación; su amplitud depende de la afluencia pronosticada. Se consideran externos o internos según su posición respecto de los controles de ingreso.



Figura 24. Vestíbulo de acceso a la estación.

3.1.3 CIRCULACIONES.

Se clasifican en horizontales y verticales. Las primeras permiten los desplazamientos de los usuarios para acceder de los vestíbulos interiores a los andenes y viceversa. Su capacidad está en función de la afluencia y debe permitir el desalojo de los andenes en tres minutos, previendo casos de emergencia.

Las circulaciones verticales tienen igual función que las anteriores; cuando las estaciones son resueltas en dos o más niveles, ya sea en subterráneo, túnel, elevada o superficial, se instalan escaleras eléctricas, con capacidad de cinco mil o diez mil personas por hora; también, se instalan en algunas pasarelas de cambio de andén.⁴



Figura 25. Pasarela de cambio de andén.

3.1.4 TAQUILLAS.

Se tiene un mínimo de dos por estación, definiendo a una como la principal; se ubican en los vestíbulos exteriores, en casetas aisladas. Su equipamiento consta de una consola para la expedición simultánea de boletos en dos ventanillas, caja fuerte y mesa de cambio de taquillera.⁴



Figura 26. *Construcción de taquillas.*

3.1.5 CONTROLES.

Los torniquetes, operan unidireccionalmente. Los de la entrada cuentan con cabeza electrónica que a la introducción del boleto identifica su validez, lo contabiliza, acciona el torniquete y lo cancela; o bien, es regresado a su poseedor, cuando se trata de boleto-abono, cuando es fraudulento, se acciona una alarma. Cada torniquete de ingreso permite el paso de 28 usuarios por minuto; los de salida, a un ritmo de 33 usuarios. Unos y otros se instalan en función de la afluencia pronosticada.

3.1.6 ANDÉN.

Es sin duda el elemento fundamental de la estación, en él se realiza el ascenso y descenso de los trenes, su longitud es de 150 metros, está en

función de los nueve carros que conforman el tren, y su ancho es de cuatro metros. Por razones de seguridad, se ha enfatizado una franja de 40 centímetros en el “borde del andén” con otro material a todo lo largo, como separación física entre el usuario y el tren, cuya velocidad de entrada a la estación es de 80 kilómetros por hora. El ancho del andén se determina para dos tercios de la capacidad del tren, es decir mil pasajeros que ocupan un área de 250 metros cuadrados a razón de cuatro pasajeros por metro cuadrado. El área restante de 290 metros cuadrados permite un pasillo virtual de 1.90 metros a lo largo del andén, para circulación. En función del espacio disponible en la superficie vial, de la operación y de la demanda concentrada de usuarios, las estaciones se proyectan con andenes laterales o centrales, con el fin de facilitar los ascensos y descensos a los trenes, que constituyen la maniobra más crítica en términos de funcionalidad del metro.⁴



Figura 27. *Andén de estación elevada.*

3.1.7 SELECCIÓN DE MATERIALES.

En todos los espacios construidos se considera necesario que los acabados sean permanentes y de buena calidad. Este tipo de obra no permite mantenimientos frecuentes en las estaciones ni en los talleres.

Se considera que el acabado elegido debe ser resultado del análisis riguroso para que dentro de los límites económicos, sea mejor en calidad, aspecto y resistencia al uso rudo y continuo y que contribuya a evitar los efectos del enclaustramiento.

Estas condiciones han hecho necesario establecer un sistema de selección de materiales para exteriores e interiores de las estaciones, tendientes a aumentar su durabilidad y resistencia, sin sacrificar las características generales que permitan lograr un proyecto de acabados confortable, seguro y con valor estético.

Debido a que las áreas públicas de las estaciones del metro están destinadas a la circulación constante de grandes flujos humanos y a tiempos de espera, la selección de sus acabados es sometida a un proceso de pruebas físicas muy riguroso, que da como resultado un catálogo de materiales probados, con los cuales el proyecto presenta soluciones rentables, durables y con un gran sentido plástico.

Los análisis para seleccionar los materiales se hacen en atención a sus valores cualitativos y cuantitativos. Los primeros se analizan bajo dos ópticas:

- a) Subjetivamente, es decir evaluando los materiales en consideración a sus cualidades estéticas: color, forma, textura, versatilidad de aplicación y cualidades de manufactura.
- b) Objetivamente, con base en pruebas de laboratorio en las que se estudian sus características físicas, que entre otras son: resistencia al impacto, abrasión, intemperismo, rayado, absorción de grasas, combustión y reflejo de la luz y el sonido.

Por su parte el análisis tipo cuantitativo se enfoca al estudio de mercado nacional y a definir sus posibilidades de satisfacer la demanda a corto plazo y la reposición a largo plazo.

Es conveniente aclarar que no sólo es importante la selección de los acabados, sino la especificación de los mismos, así como su colocación, para lo cual se debe llevar una estrecha coordinación con los fabricantes, encargados de suministrar los elementos tipo que, en muchos casos, reciben y soportan los acabados, como es el caso de las mamparas, el canal de señalización, los sistemas de iluminación y otros, cuyos proyectos se describen de manera específica.⁴

3.1.8 PISOS.

Ante la circunstancia de que millones de personas de manera continua los transitarán, sus materiales deben reunir características especiales, tales como: alta resistencia y duración, gran resistencia a la abrasión y al desgaste, poca absorción de otros materiales, fácil limpieza, mantenimiento,

rápida reposición y condiciones antiderrapantes en el borde del andén así como en accesos en donde es posible que se mojen y se tornen resbaladizos. Se determina utilizar los siguientes:

- Andenes, vestíbulos y zonas de control de pasajeros: Loseta de mármol Santo Tomás pulido y brillado.
- Accesos: Loseta de mármol Santo Tomás martelinado.
- Áreas exteriores: Loseta de concreto basáltico.
- Locales técnicos y subestaciones: Pisos de concreto pulido con sellador integrado.
- Servicios sanitarios para personal: Pisos de concreto pulido con sellador integrado.
- Taquillas y permanencia: Loseta vinílica sobre firme de concreto pulido.



Figura 28. Colocación de mármol tipo Santo Tomás en pisos de andén.

3.1.9 MUROS.

En general, en las zonas expuestas al público, se colocan mamparas, cuidando las características siguientes: resistentes al rayado, a la penetración de grasas, de fácil conservación, mantenimiento y reposición,

posibilidad de ofrecer gran colorido e integración al sistema gráfico de señalización, ser reflejante de la luz y tener resistencia al intemperismo.

En las áreas de vestíbulos, se han proyectado recubrimientos a base de mosaico bizantino de diferentes colores, lo que permite distinguir la zona central de las estaciones desde cualquier punto del andén.

En los accesos existe mayor libertad de colocación de los materiales tales como: concretos aparentes o concretos terminados con recubrimientos, con resinas vinil acrílicas sobre aplanados y repellados de mortero, losetas de arcilla esmaltada y mármoles.⁴



Figura 29. Muros de concreto aparente en accesos de estación.



Figura 30. Muros de concreto aparente en subestación de rectificación.

3.1.10 EL COLOR Y LA ILUMINACIÓN.

El programa de las estaciones incluye necesidades tan cercanas al bienestar psicológico, como el proporcionado por los dimensionamientos y la tecnificación de los espacios construidos. Es así que las diversas ingenierías (estructuras, electromecánica e hidrosanitaria) y la arquitectura llevan a cabo un trabajo interdisciplinario.

En este proyecto se ha procedido a un cuidadoso estudio de luz y color sobre volúmenes a iluminar, intensidades lumínicas de espacios y plafones reflejantes, contribuyentes al resultado cromático. Los materiales de

muros, pisos y plafones, es decir, de la envolvente visual de las estaciones, requirieron para su selección, cumplir al mismo tiempo con cualidades de resistencia al uso rudo continuo y multitudinario, así como costos adecuados de adquisición, fácil colocación y reposición.

El propósito de tal integración tiene por objeto que el usuario experimente seguridad y no sea víctima de efectos depresivos, ya que no hay efecto más deprimente, para los ocupantes de un edificio, que el producido por la decadencia de sus espacios y acabados, pero además en la arquitectura del metro, los trabajos de conservación se hacen en horarios reducidos, de suerte que la concepción de estos espacios y acabados de las estaciones se procura sean perdurables.⁴

En las áreas centrales de las estaciones, los plafones se han resuelto a base de perfiles de aluminio, separados en forma de marimba, enfatizados con luz indirecta, para señalar el acceso a los andenes y a la pasarela de cambio de andén.

En el caso de los elementos de concreto reforzado que cubren el andén, o las losas de los techos de los vestíbulos y circulaciones horizontales, se utilizan aplicaciones de texturas rugosas como el tirol o pinturas de resina vinil acrílica. El color y la textura de estos techos pueden contribuir a mejorar la apariencia de la obra gruesa, combinándola adecuadamente con un proyecto de iluminación que evite la luz rasante.



Figura 31. Colocación de plafones en techos.

En los casos en los que se especifican materiales adheridos a elementos precolados o prefabricados de concreto, es importante proponer aditivos adhesivos que contribuyan al sellado de los concretos y con ello se evite el desprendimiento de polvo, el cual disminuye la vida útil de los equipos electromecánicos en subestaciones y locales técnicos (Ver figura 29).

La iluminación de una estación se diseña atendiendo normas y parámetros que definen la intensidad lumínica de acuerdo a los usos o destinos de las diferentes áreas que la conforman y que para tales efectos se dividen en dos grupos: las públicas y las operativas.⁴



Figura 32. *Luminarias para enfatizar borde de andén.*



Figura 33. Preparaciones en plafón para luminarias en pasarela de estación.

Adicionalmente, el diseño de la iluminación aunado a los niveles (establecidos por la ingeniería eléctrica), cumple otros objetivos:

- Enfatizar las zonas donde el usuario debe prestar mayor atención, como por ejemplo, el borde del andén que es donde se asciende y desciende del tren y la zona de torniquetes y taquillas, que constituyen el control de accesos y salidas de los usuarios.
- Conducir subliminalmente a los usuarios de acuerdo con los flujos de circulación en la estación.

- Soportar, iluminar y acentuar la señalización, que el usuario necesita identificar con rapidez para evacuar la estación en casos de emergencia.
 - Integrar en las luminarias el sistema de sonido y voceo de la estación.
 - Apoyar al sistema de seguridad de la estación al propiciar niveles de iluminación que permitan una vigilancia directa.
-

Áreas públicas	Nivel de iluminación
<i>Vestíbulos</i>	<i>200 luxes</i>
<i>Accesos</i>	<i>200 luxes</i>
<i>Taquillas</i>	<i>500 luxes</i>
<i>Área de torniquetes</i>	<i>300 luxes</i>
<i>Pasarelas</i>	<i>200 luxes</i>
<i>Andenes</i>	<i>200 luxes</i>
Áreas operativas	
<i>Jefe de estación</i>	<i>200 luxes</i>
<i>Local técnico</i>	<i>200 luxes</i>
<i>Primeros auxilios</i>	<i>200 luxes</i>
<i>Subestaciones</i>	<i>150 luxes</i>
<i>Cuarto de máquinas</i>	<i>150 luxes</i>
<i>Bodegas</i>	<i>100 luxes</i>
<i>Sanitarios</i>	<i>100 luxes</i>
<i>Cuarto de tableros</i>	<i>150 luxes</i>

Cuadro 2. Iluminación requerida por áreas.

Fuente: Grupo ICA, 1997.

3.1.11 SEÑALIZACIÓN.

La señalización es un sistema indispensable para la correcta operación de las estaciones. Para ello debe contar con símbolos y descripciones claras y concisas, que informen, orienten y ordenen los grandes flujos de usuarios, del acceso al convoy y viceversa. Esto requiere que la simbología y los letreros eviten las equivocaciones y el usuario tenga un conocimiento absoluto del sitio donde se encuentra y del recorrido peatonal que debe hacer, para llegar a su destino.

El sistema de señalización está enfocado a prevenir, informar y orientar al usuario, tomando en cuenta el uso adecuado de las instalaciones y su protección; diseñado bajo un criterio funcional y estético, de tal manera que sus características produzcan un efecto contemporáneo, uniforme, de fácil aceptación y memorización.

Para lograr este criterio se utilizan procedimientos que estudian la conducta humana ante las señales, tomando en cuenta factores psicosociales y considerando que el público que se sirve del metro es heterogéneo, lo que crea la necesidad de lograr una simbología clara, obvia y significativa.⁸

El señalamiento del sistema se clasifica en cinco grupos; de acuerdo con la función que cada uno de ellos desempeña:

⁸ Grupo ICA, "Manual de Procedimientos Constructivos", 1991, México.

Básicos. Tienen por objeto la identificación general del sistema de las líneas y de las estaciones, así como ubicar al usuario con respecto al espacio arquitectónico de las mismas. Son los siguientes:

- Símbolo básico del metro.
- Número y color de las líneas, de fácil combinación con otros colores y no repetidos.
- Los símbolos particulares de cada estación son una representación esquemática de alguna referencia histórica, etimológica, costumbrista o geográfica de la zona donde se localiza, de tal manera que sea una imagen identificable a todos los niveles de público y que unido al nombre de la misma, forma un binomio visual el cual queda fijo en la conciencia colectiva.
- Diagramas generales destinados a ubicar al usuario, tales como el de la red, el de la línea y el mapa de barrio aledaño a cada estación.

Direccionales. Indican al usuario los desplazamientos necesarios que debe realizar, para que arribe rápida y fácilmente hacia su objetivo. En general este grupo de señales se resuelve a base de letreros y flechas indicando la dirección en la cual debe desplazarse el pasajero dentro de la estación.

Preventivos. Alertan al usuario y lo inducen a realizar acciones necesarias para desplazarse a su destino con el mínimo de contratiempos.

Se ubican en:

- Escaleras
- Cambio de andén
- Cambios de dirección

Restrictivos. Prohíben al usuario realizar algunas acciones, limitándolo en desplazamientos y actividades que fueran perjudiciales para la operación del sistema. La ubicación adecuada de estos señalamientos es fundamental para el uso correcto de las instalaciones del metro y se encuentran en lugares clave, escogidos de acuerdo con las características del movimiento de los pasajeros, previendo que puedan leerlos sin obstrucciones.

Informativos. Señalan al usuario servicios para su uso potencial: taquilla, policía, primeros auxilios, sistemas de emergencia. Dentro de este grupo puede considerarse la publicidad, cuyos espacios específicos en el andén fueron concebidos de manera integral a las mamparas, que recubren los muros del mismo.

Las señales propiamente dichas pueden ser luminosas u opacas. Las luminosas son aquellas que el usuario necesita ver rápidamente, por ejemplo: salidas, salidas de emergencia, dirección de la vía, diagramas de la línea y de la red; y las opacas, para verse sobre la marcha y señalan entradas al andén, prohibiciones de paso, nombres de locales, cambio de andén y nombre de la estación.

La señalización se ubica dentro del campo visual del usuario; no debajo de 2.50 metros no arriba de tres metros, con excepción de los diagramas y el canal de señalización.⁴



Figura 34. Señalización del nombre de estación.

3.2 PROYECTO ESTRUCTURAL.

Gracias a los estudios preliminares y en función al proyecto arquitectónico, se elabora un diseño estructural capaz de satisfacer todas las necesidades del proyecto, dicho diseño se ocupa de describir el comportamiento de la estructura total en base a diversos factores que ocasionen movimientos y/o desplazamientos alterando así la seguridad propia de la estructura y de sus ocupantes, para el estudio de éstas

alteraciones se toma en cuenta el viento, sismo y peso propio de la estructura.

Con el propósito de elaborar un diseño óptimo; se realizan anteproyectos los cuales consideran diferentes materiales, sistemas de estructuración, procedimientos constructivos, así como los factores de seguridad, economía, y factibilidad, los cuales serán influyentes para la consolidación del proyecto al reducir los tiempos de construcción y mantenimiento de la estructura.

En el caso particular del Sistema de Transporte Colectivo Metro; se considera una rigurosa atención en los detalles de seguridad estructural, debido a ello cuentan con especificaciones técnico-constructivas basados en estándares de alta calidad a nivel mundial aplicables únicamente a la construcción del metro.

Con base en lo que el proyecto requería, se opta por implementar el procedimiento constructivo de viaducto elevado, debido a que brinda ventajas sumamente esenciales al disminuir la afectación vial, menor número de obras inducidas y un corto tiempo de ejecución.

Con estas propuestas se obtuvo mayor seguridad sobre el cumplimiento en tiempo y forma a las fechas comprometidas de inicio de operación, lo cual trajo nuevos retos de cimentación debido a las variantes del subsuelo y los altos parámetros de comportamiento de la vía ante movimientos.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, como asesor del Gobierno del Distrito Federal, aportó sus observaciones en la etapa de diseño, construcción y pruebas de funcionamiento. Al respecto, se indicó que las estructuras elevadas de gran longitud tipo viaducto presentan una especial propensión a sufrir la variación de la acción sísmica. Investigadores involucrados en el proyecto desarrollaron modelos analizando movimientos uniformes y aleatorios en distintas direcciones para determinar los posibles desplazamientos relativos entre apoyos, tanto en dirección longitudinal como transversal, generando acelerogramas sintéticos mediante la caracterización del ambiente para obtener un espectro de respuesta estándar y predecir la degradación de propiedades geotécnicas y estructurales que pudieran ocasionar el colapso de las estructuras.³

Esos métodos de análisis dieron mayor certidumbre en los resultados y permitieron el correcto dimensionamiento de la cimentación y de los apoyos trabe-columna del viaducto elevado. Como parte de los resultados pudo determinarse el comportamiento pronosticado de manera particular en cada apoyo, así como parte de un sistema integral.

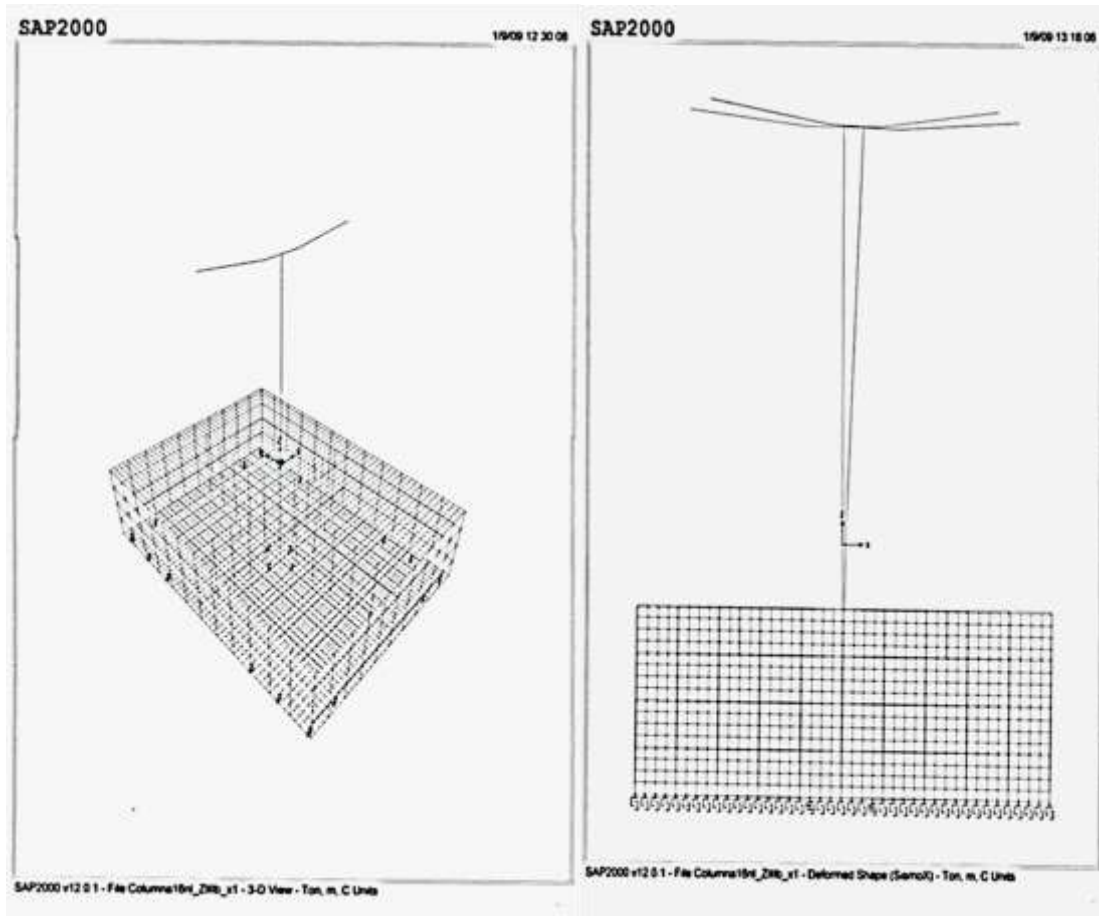


Figura 35. Diseño estructural del viaducto elevado.

3.2.1 DISEÑO ESTRUCTURAL.

En general, las estructuras están dimensionadas mediante el método de diseño por resistencia última y en algunos casos por el de esfuerzos de trabajo. Los factores de carga y reducción de resistencia que se utilizan, son los que establece el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, así como en las especificaciones de Puentes para Caminos de la S.C.T. En los casos no contemplados por las normas anteriores, se utilizan las especificaciones cuyo uso es internacionalmente aceptado como las emitidas por AASHTO, AISC Y ACI. La calidad de los materiales se selecciona de

acuerdo a los parámetros de resistencia, durabilidad, costo mínimo y aspecto físico.

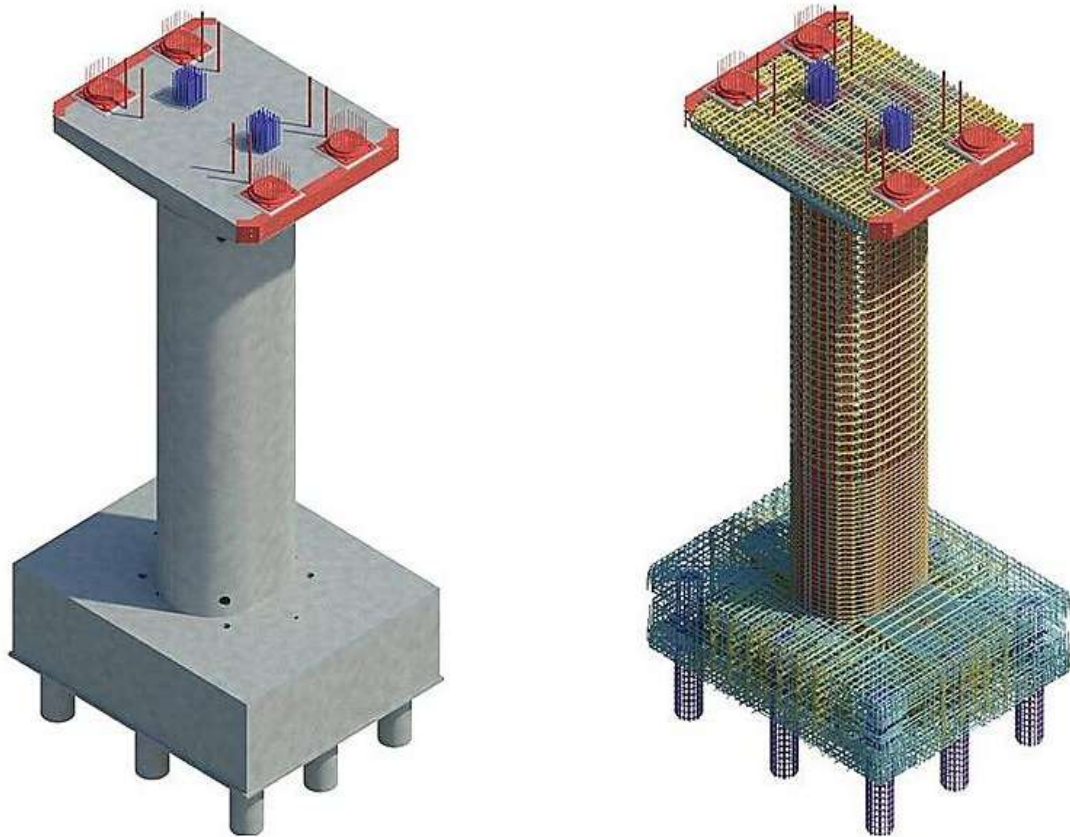


Figura 36. *Modelo tridimensional estructural.*

3.2.2 SOLICITACIONES DE DISEÑO.

En consideración a la gran afluencia de usuarios, al costo de los equipos alojados en las edificaciones del metro, así como a la necesidad de su buen funcionamiento en caso de eventos extraordinarios, se considera que la estabilidad de estas obras es de gran importancia para la ciudad, por lo que su diseño incorpora márgenes adicionales de seguridad reglamentarios.

Las estructuras del metro están diseñadas para que sean capaces de soportar las cargas que actuarán sobre ellas durante su servicio y en el curso de las diferentes etapas de construcción, como lo son: las acciones permanentes del peso de la estructura, el peso de rellenos, acabados, amueblado, equipos y muros divisorios, los empujes inducidos por el suelo, el agua y las construcciones vecinas, las acciones de cargas temporales, como las inducidas por la gente, los trenes del metro y las de los vehículos que transitan sobre sus construcciones, así como la acción extraordinaria proveniente de vientos de magnitud importante y de sismos.⁴

3.2.3 DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

Para diseñar estructuras de concreto, incluido el concreto simple y el reforzado (ordinario y presforzado) es necesario tener conocimiento de los requisitos complementarios para concreto ligero y concreto de alta resistencia; incluyendo las estructuras prefabricadas.

Estas disposiciones deben considerarse como un complemento de los principios básicos de diseño establecidos en el Título Sexto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

La resistencia (f'_c) de los concretos será especificada en los planos, refiriéndose a la resistencia que deberá obtener el espécimen de ensaye a los 28 días de elaborado el concreto. Dicha resistencia se dará en kg/cm^2 .

Para las obras clasificadas como del grupo A o B1, según se definen en el artículo 139 del Reglamento, se usará concreto clase 1. Los requisitos adicionales para concretos de alta resistencia con resistencia especificada a la compresión, f_c , igual o mayor que 400 kg/cm^2 se diseñan usando el valor nominal, f_c^* , determinado por la ecuación: $f_c^* = 0.8 f_c$.

En elementos de concreto presforzado deben revisarse los estados límites de falla y los de servicio. Se deberán tomar en cuenta las concentraciones de esfuerzos debido al presfuerzo.⁹ Los concretos a utilizar en este proyecto, tendrán las siguientes resistencias:

Resistencia del concreto	Elemento
$f_c = 14 \text{ kg/cm}^2$	Relleno fluido
$f_c = 100 \text{ kg/cm}^2$	Plantillas
$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$	Pilas de cimentación
$f_c = 600 \text{ kg/cm}^2$	Conexión de zapatas
$f_c = 600 \text{ kg/cm}^2$	Elemento prefabricado zapata-columna
$f_c = 600 \text{ kg/cm}^2$	Elemento prefabricado cabezal
$f_c = 600 \text{ kg/cm}^2$	Elemento prefabricado trabe U
$f_c = 600 \text{ kg/cm}^2$	Conexión columna-trabe
$f_c = 600 \text{ kg/cm}^2$	Bulbo y nervadura central
$f_c = 300 \text{ kg/cm}^2$	Firmes de compresión
$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$	Muro trinchera
$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$	Andén
$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$	Escaleras
$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$	Fachadas

Cuadro 3. *Tabla de resistencias de concretos utilizados.*

⁹ Calderón Calderón Salvador, Tesis Profesional. "Cimentación del Distribuidor Vial Periférico-Muyuguarda", 2007. Facultad de Ingeniería. UNAM

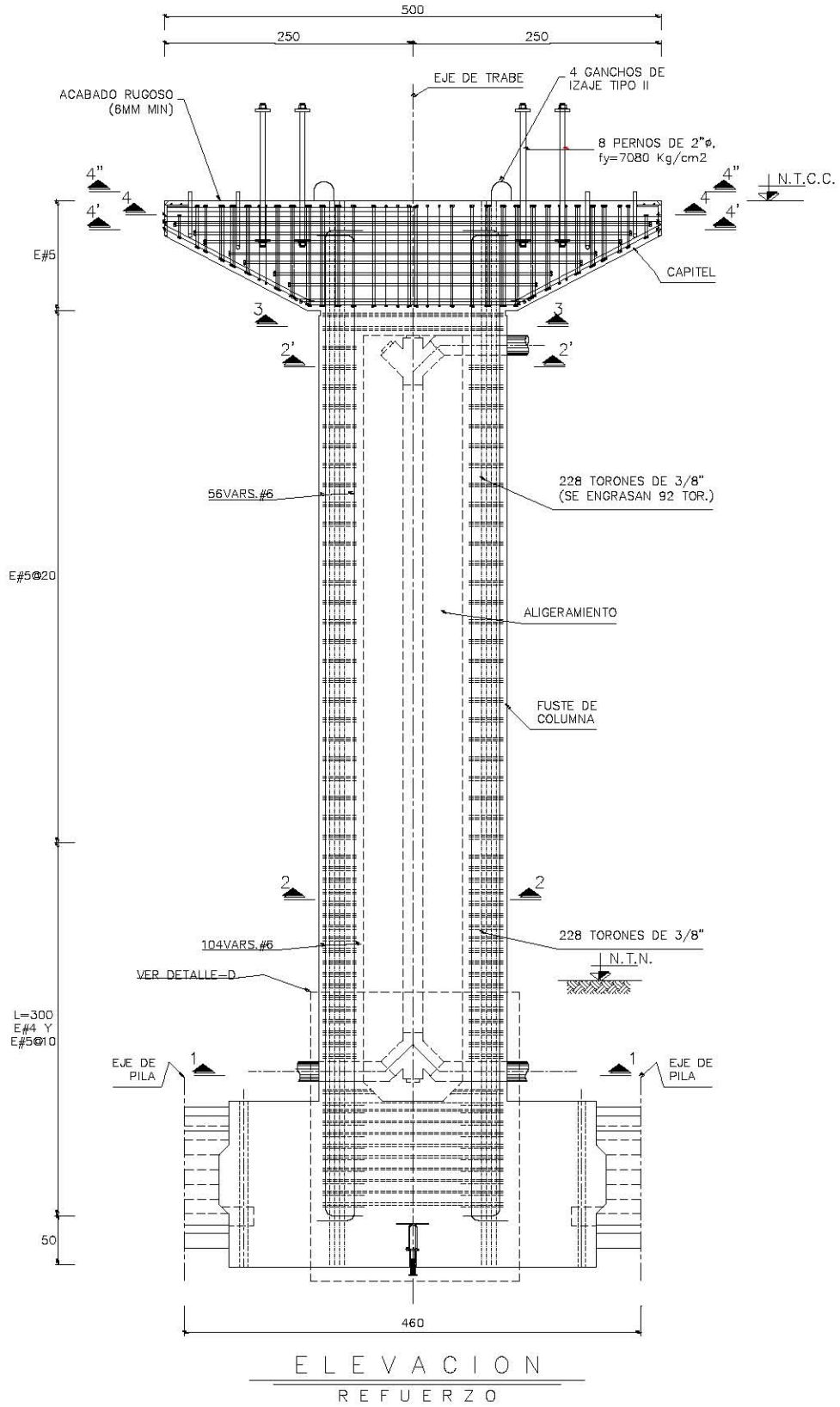


Figura 37. Estructural elevación de columnas.

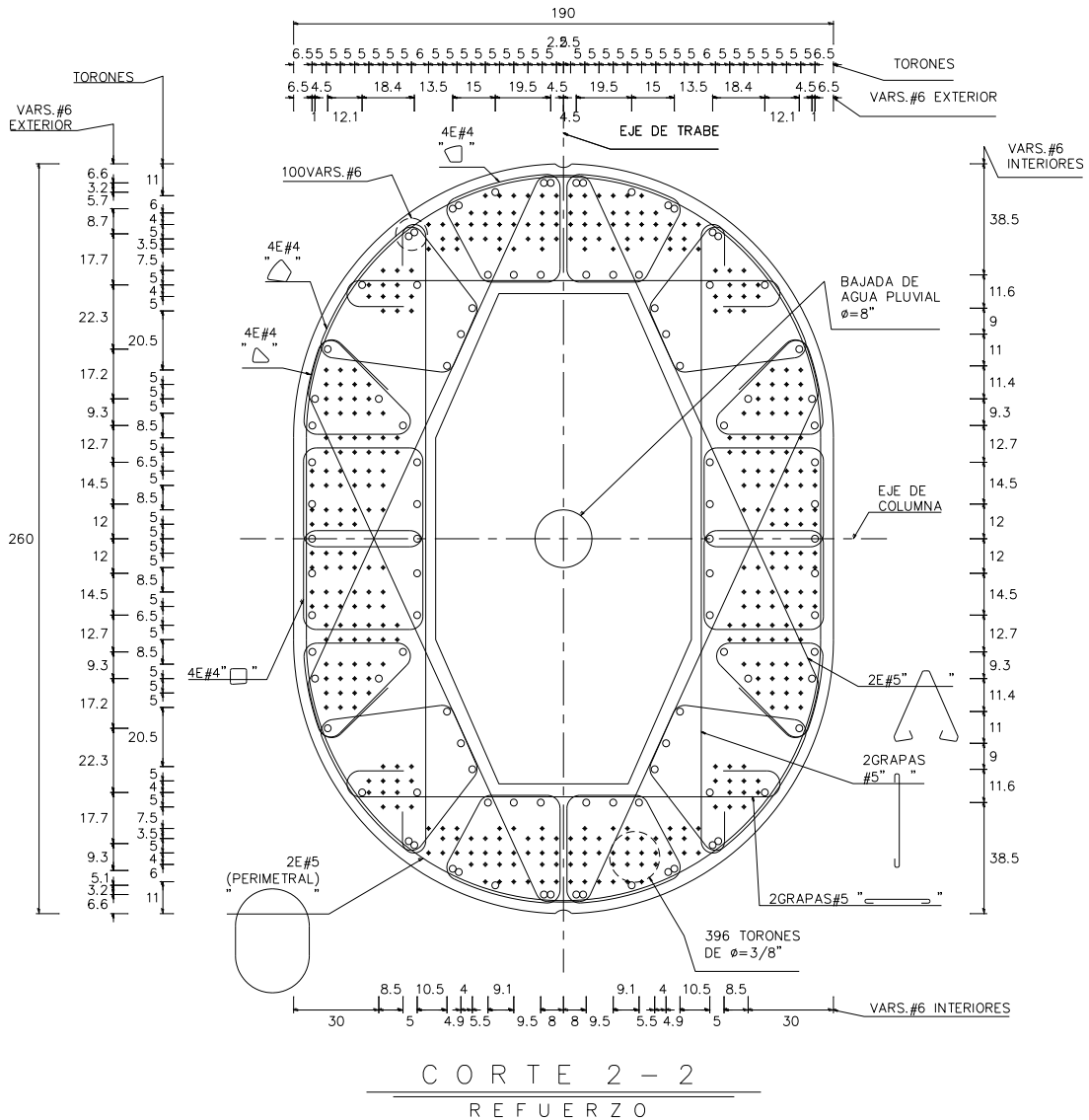


Figura 38. Estructural corte de columnas.

3.2.4 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN.

Conforme al cuadro 1 de soluciones de cimentación, se tiene que para cimentar el viaducto elevado se requieren pilas de cimentación de 0.80 m de diámetro, elaboradas con 28 varillas del #8 y zunchos con varilla del #4. En los apoyos de las estaciones se requieren 8 pilas por columna mientras que en los apoyos del intertramo; se requieren 4 pilas por columna.

Ubicación	No. Pilas	No. Apoyos	Pilas totales
Estación San Andrés Tomatlán	8	8	64
Intertramo San Andrés Tomatlán- Santa María Tomatlán	4	35	140
Estación Santa María Tomatlán	8	8	64
Total		51	268

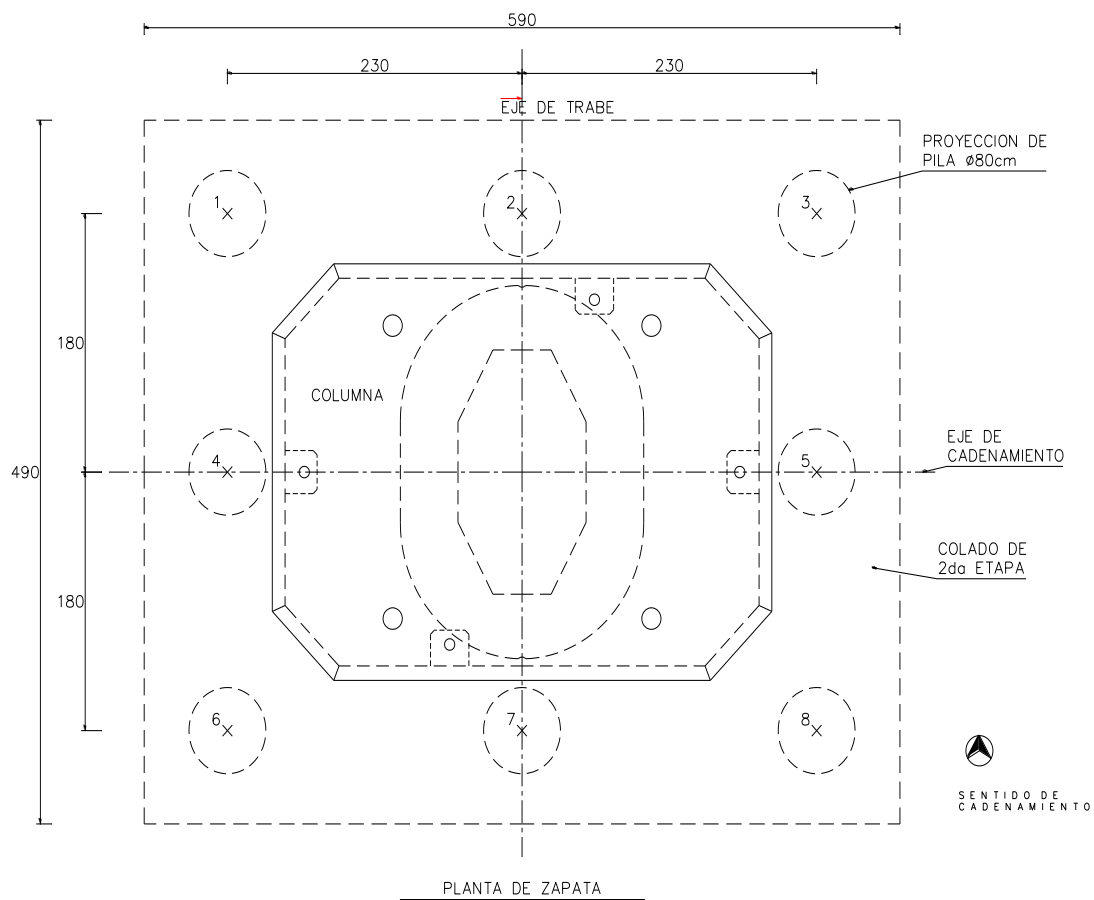


Figura 39. Planta de apoyo de estación.

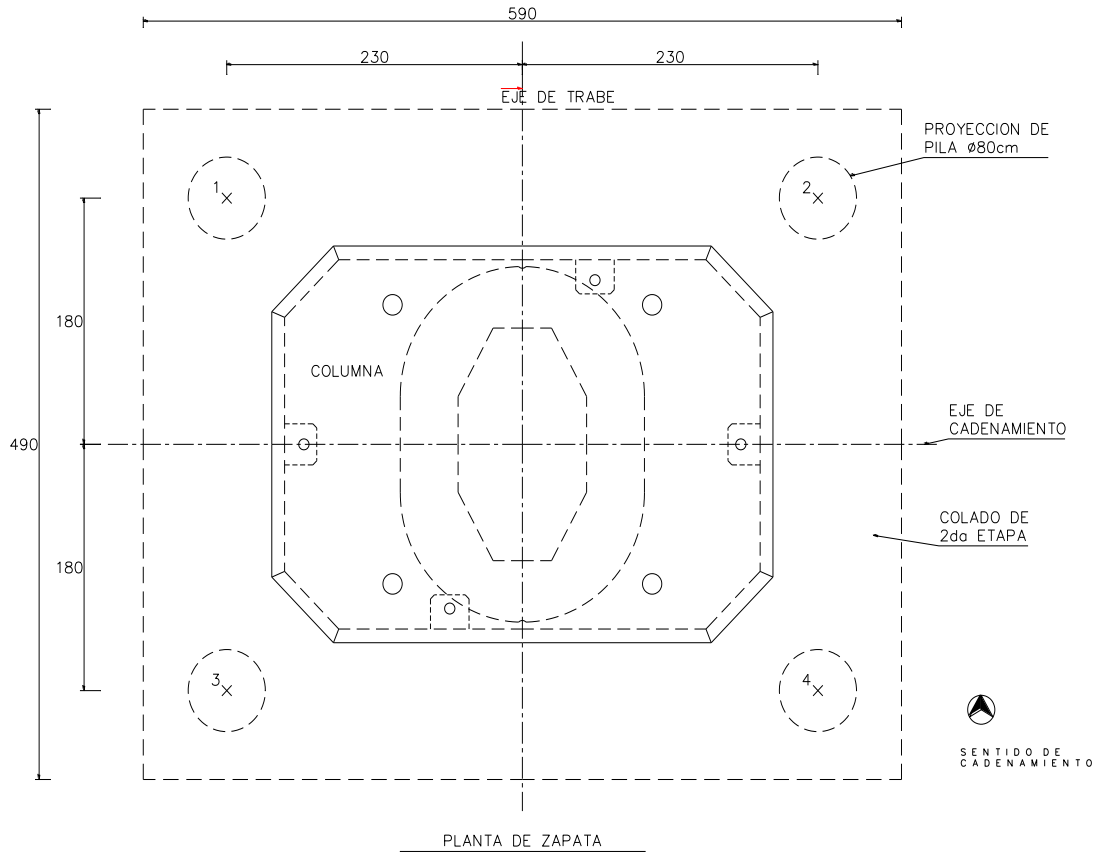


Figura 40. Planta de apoyo de intertramo.

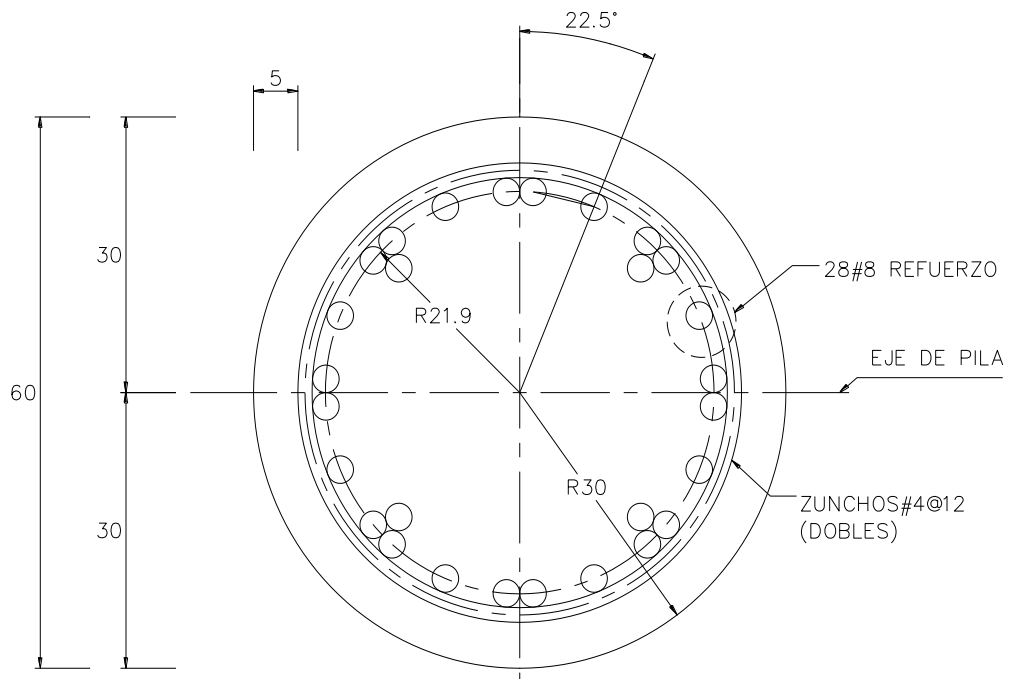


Figura 41. Planta de armado de pilas.

CAPÍTULO IV
PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO

4.1 CONSTRUCCIÓN DE PILAS

4.1.1 ANTECEDENTES

1. Antes de iniciar la excavación de la pila es conveniente tener armada y habilitada la parrilla de la pila de acuerdo a las especificaciones del proyecto, tener programadas las pipas de lodo bentonítico así como el suministro de concreto estructural.
2. Se trazará en campo la planta de cimentación (zapatas y pilas), verificando que ninguna instalación municipal (agua, luz, PEMEX, drenaje, fibra óptica, etc.) interfiera con la obra en caso contrario será necesario reubicarlas atendiendo al proyecto, especificaciones y normas de calidad de la dependencia que corresponda.
3. Se marcará con precisión de ± 1 cm la ubicación de los puntos centrales donde se construirán las pilas.
4. Se prepara el área con limpieza, se verifica el espacio para maniobras de los equipos, cableados de luz, etc.

4.1.2 PROCEDIMIENTO

1. El personal de topografía de la obra, localiza y posiciona el punto exacto en donde se construirá la pila, posteriormente y antes de iniciar la perforación se ubican estacas de varilla en el pinto central de la pila, con el fin de tener referencias y cuidar siempre el centro de la perforación.¹⁰

¹⁰ Viveros Cerón, Elsa. "Plan de Ejecución Viaducto Elevado", ICA CU, México, 2010.

2. Para realizar la perforación, se utiliza una perforadora rotatoria marca Soilmec RT3-S o similar, montada sobre una grúa Link-belt modelo LS-118 o similar, la herramienta principal es un bote de perforación con el diámetro requerido, que al girar en sentido directo, actúa sobre el material empacándolo dentro de él, esto se realiza hasta la profundidad que indiquen los planos y especificaciones respectivos. Durante todo el proceso de perforación y si existe inestabilidad del suelo, el barreno se mantiene lleno de lodo bentonítico salvo los últimos 40 cm, para evitar que se escurra sobre la superficie.
3. La forma de medir la profundidad de perforación, es utilizando marcas en el cable de la grúa que sostiene al barretón, tomando como base las medidas de la longitud de la broca barrenadora y las extensiones que apoyan a la misma cuya longitud es conocida, o por medio de una sonda que tiene calibrado su cable a cada metro. En éste punto entra el área de ingeniería para determinar la profundidad final de barrenación.
4. Finalmente se verifica que el fondo de la perforación esté libre de azolve, limpiando el fondo con el bote de perforación y revisando con una sonda la profundidad total de la pila.
5. Al término de las actividades de perforación, el material extraído es retirado del sitio de trabajo, transportándolo al tiro propuesto y aprobado por el cliente.

6. La verticalidad del equipo de perforación, se controla continuamente utilizando dos plomadas de hilo situadas perpendicularmente a 90° de la posición del eje del barreno y apoyadas en dos bases de varilla, distanciadas adecuadamente de la máquina.
7. Para mantener la integridad de la excavación, el tiempo que transcurra desde el término de la perforación, hasta el colado de la pila, no debe ser mayor a 24 horas en ninguna circunstancia, en caso contrario, debe rellenarse nuevamente la perforación.



Figura 43. Perforación para pilas.

8. Durante la perforación, para evitar la inestabilidad, caídos excesivos o que se abocarde la perforación, se utiliza un fluido estabilizador (lodo bentonítico) y una vez fraguado se volverá a realizar la perforación garantizando el diámetro requerido eliminando los caídos. Las propiedades del lodo bentonítico son densidad, viscosidad, espesor de costra, contenido de arena y potencial de hidrógeno. Para las pruebas se hace un estudio completo del producto al inicio con referencia al Plan de Inspección y Pruebas.
9. Construcción solicita a Calidad el laboratorio de concreto con su programa mensual de pruebas y su cumplimiento.¹⁰



Figura 44. Manejo de lodo bentonítico.

10. Se habilita el armado de acero de refuerzo de las pilas antes de iniciar la perforación correspondiente, apegándose a las normas, planos y especificaciones de la obra.
11. Verificadas las condiciones del fondo se introducirá en el barreno el armado estructural de las pilas. Éste armado corresponderá con el proyecto estructural y estará formado por un solo elemento con la longitud de proyecto.
12. El armado contará con elementos que garanticen su correcta posición en la perforación (centradores) y con las preparaciones necesarias para ligarlo estructuralmente con la zapata correspondiente.⁷



Figura 45. Armado de pilas.



Figura 46. Limpieza de acero en pilas.

13. Una vez terminada la perforación de cada pila, se coloca dentro de esta el acero de refuerzo previamente habilitado, con una grúa LS-108 o similar, la cual también se utiliza en el colado de las pilas.
14. En la cara exterior del acero de refuerzo se le colocan separadores de concreto o acero (pollos) para garantizar el recubrimiento de concreto mínimo especificado.⁷



Figura 47. Izaje del armado de una pila.

15. El lodo bentonítico que se desplaza al colocar el concreto dentro de la perforación se bombea hacia tanques de almacenamiento o carro góndola para su disposición.

16. Una vez que el concreto se tiene al nivel de proyecto, se procede de inmediato a extraer el total de la tubería tremie, para evitar que se fragüe el concreto en su interior.

17. Pruebas de control de calidad:

Al acero de refuerzo se le toma una muestra al inicio y a cada 50 toneladas a fin de determinar su resistencia a la tensión y su límite de fluencia, comprobando que sea lo indicado en las especificaciones particulares del proyecto.

Al concreto se le toman 4 muestras por cada 40 m³ suministrados o por cada 3 elementos de pila, a fin de determinar en laboratorio su resistencia a 3 o 7 días o edad especificada, comprobando que sea lo indicado en las especificaciones particulares del proyecto; también al concreto de cada olla que llegue a la obra se le verifica el revenimiento comprobando que sea lo indicado en las especificaciones particulares del proyecto.

18. El concreto utilizado será clase estructural, con la resistencia indicada en el proyecto estructural, el tamaño máximo del agregado será de $\frac{3}{4}$ ".

19. El concreto fresco presentará un revenimiento mínimo de 18 cm, debiendo mantenerlo durante todo el proceso de colado, pudiendo considerar la inclusión de algún aditivo retardante de fraguado.¹⁰



Figura 48. Colado de pilas con tubería tremie.

20. Para el control operacional del medio ambiente, dentro de la obra se prepara una zona para acopiar desperdicios de cascajo y residuos de concreto producto del lavado de los canalones de las ollas transportadoras de concreto evitando contaminar otras áreas. Todos los residuos de concreto y escombros son dispuestos por camiones a un tiro autorizado. Cuando sea posible los lodos bentoníticos residuales se almacenan en tinacos para su reúso moderado y/o

disposición a tiro autorizado. Limpieza continua de las áreas de trabajo.¹⁰

SEGURIDAD E HIGIENE

21. Durante los colados el personal de obra cuenta con el equipo de protección personal para la colocación del armado de pila.

RECURSOS:

1. **Equipo:** Perforadora marca Soilmec RT3-S o similar, Grúa Link-belt LS-118, bote de perforación, tanques de almacenamiento o góndolas, planta dosificadora de Lodos Bentoníticos.
2. **Mano de obra:** Topógrafos, Laboratorio, Personal capacitado en el presente procedimiento.
3. **Materiales:** Estacas de varilla, lodo bentonítico, acero de refuerzo, centradores, concreto de 250 kg/cm² y 300 kg/cm².

4.2 CONSTRUCCIÓN DE ZAPATAS.

4.2.1 ANTECEDENTES.

1. Antes de iniciar la excavación es necesario contar con el proyecto a ejecutar, materiales, mano de obra y la maquinaria de acuerdo a especificaciones de proyecto.

4.2.2 PROCEDIMIENTO.

1. Como primera actividad deberá ubicarse y referenciarse perfectamente el área que ocupará la zapata, los niveles y localización de pilas coladas.

2. El proceso de excavación se verifica a través de un formato denominado “Solicitud de Colado”.
3. Etapas de excavación y contención:
 - La excavación se realizará con equipo mecánico, en una sola etapa y con la geometría de proyecto hasta la profundidad de desplante, más una sobre excavación de 130 cm para la construcción de la plantilla armada, ésta última excavación se podrá realizar de forma manual para evitar remoldeos excesivos.
 - La excavación ocupará un área cuyos lados serán de 260 cm mayores a los de la geometría de la zapata a nivel de desplante.
 - Por condiciones de vialidad o colindancias cercanas, será necesario colocar el sistema de contención temporal.
 - En la zona de lomas y donde la roca se encontró relativamente superficial, se analizó la estabilidad de taludes, resultando factores de seguridad altos, por lo que a partir de éstos análisis se omitió la estructura de contención en la zona.
 - Deberá verificarse al término de la excavación haber encontrado el estrato de desplante, mediante una inspección física (ocular y tacto), para detectar arenas, limos arenosos o limos arcillosos, de compacidad o consistencia media a alta, en

caso de materiales muy sueltos o saturados, deberá profundizarse la excavación 25 cm más, para colocar un concreto de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ en toda la profundidad de sobre excavación, previa compactación del fondo con equipo ligero (bailarinas), hasta alcanzar una compactación del 90% AASHTO estándar.

- En caso de detectarse en el fondo de la excavación material volumétricamente inestables, rellenos vegetales o materia orgánica, deberán retirarse en su totalidad y se sustituirá el volumen desalojado por un concreto con las características del párrafo anterior.
- Posteriormente se procede con el descabece de pilas mediante equipo neumático (compresor de aire), y con la terminación de la excavación hasta llegar al desplante de la zapata, excavada en su totalidad, al nivel de desplante de proyecto, se efectúa el amarre con la plantilla armada dejando 4 anclas de $\frac{3}{4}$ " de diámetro para cada una de las 5 placas de acero de 1" de espesor; después colocar el concreto $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ que cubra el área de la zapata más los sobre anchos y posteriormente ya fraguado el concreto; asentar con grout estabilizador de 1 cm de espesor las 5 placas de acero.

- Durante toda la etapa de excavación deberá contarse con un sistema de bombeo de achique que sea capaz de resolver cualquier eventualidad posible.
- Una vez alcanzado el 85% de la resistencia de la plantilla armada se procederá a realizar las maniobras para el montaje, colocación y nivelación de la pieza prefabricada zapata-columna.

4. Contención temporal con muro Berlín (tablaestaca):

- Se trazará la posición del tablaestacado en todo el perímetro de la excavación o bien paralelo a los lados cercanos a las vialidades o colindancias de la excavación, según se requiera.
- Una vez ubicada la posición del ademe, se realizará una perforación previa para el hincado de viguetas de acero tipo IPR de 12" x 59.8 kg/m, a cada 1.5 m (máximo). Las viguetas sobresaldrán 0.5 m del nivel del terreno.
- La excavación se realizará en dos etapas en corte vertical y con equipo ligero. La primera etapa de excavación será en 1.5 m y la última hasta el fondo de la excavación.
- Concluida la primera etapa de excavación, inmediatamente se afinarán las paredes y se colocarán entre las vigas verticales, tablonés de 1 ½" de espesor en contacto con el suelo y polines horizontales de 6" x 6" a cada 80 cm de separación con sus cuñas de retaque en los extremos.

- En la 1ª etapa de excavación a 1.5 m a partir del nivel del terreno se colocará horizontalmente un perfil IPR (viga madrina) 12" x 59.8 kg/m, que se fijarán a las viguetas horizontales mediante ménsulas y soldadura formando un anillo en todo el perímetro de la excavación.
- Posteriormente se continuará con la excavación hasta el fondo de la misma, repitiendo la colocación de los tablonos y polines.¹⁰



Figura 49. Excavación de zapatas.



Figura 50. Apoyo con plantilla armada previa al colado.



Figura 51. Colado de plantilla armada para apoyo.



Figura 52. Colocación de placas de acero para nivelación de columna.



Figura 53. Plantilla terminada.

5. Acero:

- Al acero de refuerzo, se le toma una muestra al inicio y a cada 50 toneladas y/o avalándolo con el certificado de calidad, a fin de determinar su resistencia a la tensión y su límite de fluencia, comprobando que sea lo indicado en las especificaciones particulares del proyecto.

6. Concreto:

- Al concreto se le toman 4 muestras por cada 40 m³ suministrados o por cada 3 elementos de pila, a fin de determinar en laboratorio su resistencia a 3 o 7 días o edad especificada, comprobando que sea lo indicado en las especificaciones particulares del proyecto; también al concreto de cada olla que llegue a la obra se le verifica el revenimiento comprobando que sea lo indicado en las especificaciones particulares del proyecto.
- El concreto utilizado será clase estructural, con la resistencia indicada en el proyecto estructural, el tamaño máximo del agregado será de $\frac{3}{4}$ ".
- El concreto fresco presentará un revenimiento mínimo de 18 cm, debiendo mantenerlo durante todo el proceso de colado, pudiendo considerar la inclusión de algún aditivo retardante de fraguado.

7. Control operacional para medio ambiente:

- Dentro de la obra se prepara una zona para acopiar desperdicios de cascajo y residuos de concreto producto del lavado de los canalones de las ollas transportadoras de concreto evitando contaminar otras áreas. Todos los residuos de concreto y escombros son dispuestos por camiones a un tiro autorizado. Cuando sea posible los lodos bentoníticos residuales se almacenan en tinacos para su reúso moderado y/o disposición a tiro autorizado. Limpieza continua de las áreas de trabajo.⁷

8. Seguridad e higiene:

- Durante los colados el personal de obra cuenta con el equipo de protección personal para la colocación del armado de pila.

9. Recursos:

- **Equipo:** Maquinaria de excavación, equipo neumático para descabece de pilas.
- **Mano de obra:** Personal capacitado en el presente procedimiento.
- **Materiales:** Concreto 250 kg/cm², relleno fluido, viguetas, puntales, tablonces y polines.

4.3 MONTAJE DE COLUMNAS.

4.3.1 ANTECEDENTES.

El personal de la planta de prefabricados verifica en el taller que las columnas se construyan de acuerdo a sus procedimientos y verifican por medio de Control de Calidad que las columnas cumplan con las especificaciones antes de su traslado a su ubicación en la obra.

4.3.2 PROCEDIMIENTO.

1. En la obra el Jefe de Frente recibe los elementos y solicita liberación a la supervisión por medio de la Cédula de Inspección de Calidad su montaje.
2. La ubicación de la entrega se localiza lo más próximo a la zona de montaje.
3. Los elementos quedan aprobados en el momento en que se hayan cumplido todos los conceptos indicados en la Cédula de Inspección de Calidad, los cuales deben estar estrictamente autorizados por la supervisión.
4. El Jefe de Obra solicita a taller que el elemento columna arribe con toda la documentación de control de calidad como registros de procesos, pruebas de laboratorio y certificaciones de los materiales que la integran.
5. Se prepara el lugar de montaje con limpieza del apoyo y sus alrededores así como con iluminación suficiente.

6. Las zonas donde se izan los elementos son en los puntos donde no afecten el comportamiento estructural, las cuales quedan definidas desde los planos de taller.
7. Se checan las geometrías y su alineamiento para detectar que en el trayecto del viaje no se hayan dañado los elementos.
8. Se ajustan los elementos de acuerdo a los niveles solicitados.
9. Las grúas, malacates, tirsors, plumas, etc., deben tener la capacidad para las cargas que se requieran y las zonas que reciban las descargas de estos equipos deberán apuntalarse en casos adecuadamente para que no sufran alguna deformación.¹⁰



Figura 54. *Posicionamiento de grúas previo al arribo del elemento prefabricado.*



Figura 55. Ajuste y revisión de niveles para alineamiento de pieza prefabricada.



Figura 56. Llegada de columna prefabricada a sitio de montaje.

MONTAJE

10. Una vez que las grúas hayan tomado las posiciones e ingresando el elemento al sitio, se estrobará la columna de los ganchos sobre el capitel. Para colocarla en posición vertical se estrobará de igual modo sobre la zapata de la columna para amadrinar el elemento y poner ésta en su posición final.
11. Comienza el izaje de la columna y se retira el tren de transporte de la pieza para tener libertad de maniobrar sin problema alguno.
12. Se coloca la pieza sobre el lugar de montaje, izando en primer lugar el capitel para lograr la verticalidad de la pieza.
13. Una vez alcanzando el eje vertical de la columna; se comienza a bajar la columna hasta que la zapata junto con el perno nivelador apoyen sobre la plantilla armada de la cimentación.
14. Estando apoyada la pieza en la plantilla armada y aún estrobada, los topógrafos alinean y nivelan la pieza.
15. Colocado el elemento en su posición final, previamente alineado y fijado mediante la colocación de cuñas, se dispone a liberar el elemento y retirar los equipos del sitio de montaje.¹⁰



Figura 57. Ganchos de izaje de columna en capitel.



Figura 58. Izaje de columna y retiro de tren de transporte.



Figura 59. Columna alcanzando eje vertical.



Figura 60. Columna sobre apoyo.



Figura 61. Montaje de columna finalizado.

CONTROL OPERACIONAL DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE.

16. Previo al arribo del elemento al sitio de descarga están listos por lo menos dos bandereros y un encargado de seguridad para preparar el área y apoyar las maniobras.
17. Para evitar un impacto ambiental por tráfico, las maniobras se llevan a cabo en horarios de bajo tráfico vehicular donde el personal de seguridad controla y verifica el entorno.

RECURSOS.

Equipo: Grúas, malacates, tífors, plumas, lámparas.

Mano de Obra: Personal capacitado en el presente procedimiento, operadores certificados en el manejo de grúas y equipos.

Materiales: Columnas prefabricadas.

4.4 VERTICALIDAD DE LAS COLUMNAS.

4.4.1 PROCEDIMIENTO.

1. Una vez izado y colocado el elemento en el sitio o base correspondiente para cada uno, se procede a realizar el plomeo.
2. Llegado el elemento prefabricado al sitio que le corresponde en forma horizontal, se debe ajustar el tornillo nivelador de cada columna (el cual está colocado en el centro de la zapata, la cual quedara con cara al piso). De acuerdo al levantamiento topográfico previamente realizado, este tornillo se ajusta para que el elemento prefabricado quede al nivel requerido por el proyecto, de ésta forma el capitel queda listo para recibir la trabe "W".
3. Realizado lo anterior se coloca el elemento prefabricado en su sitio o en la base que le corresponde.
4. Como las grúas están soportando el elemento prefabricado, se debe levantar y girar ligeramente hasta que el personal de topografía, instalado en los cuatro cuadrantes, observen que el elemento se tiene dentro de la vertical.
5. Una vez colocado el elemento con la verticalidad necesaria, indicada por el personal de topografía de acuerdo a la fórmula de inclinación de

la columna, se calza el elemento prefabricado por medio de placas metálicas denominadas cuñas, para que se mantenga en esa posición permanentemente y no se mueva.

6. Posteriormente las eslingas y estrobos se retirarán poco a poco del elemento montado.¹⁰

Fórmula de inclinación de la columna:

Tolerancia en la verticalidad de elementos

$$d \leq H/500 \text{ ó } d \leq 25 \text{ mm}$$

Tomando el valor mínimo.

4.5 CONEXIÓN DE ZAPATAS.

4.5.1 ANTECEDENTES.

1. Tener la columna en su posición final, alineada y nivelada en el apoyo o base correspondiente.
2. Haber realizado el colado nivelador de zapata denominado “galleta”.
3. Realizar la limpieza necesaria de la plantilla armada para mantener la integridad del acero y concreto a suministrar.
4. Contar con los planos estructurales autorizados del proyecto.
5. Contar con el material y equipo necesario para realizar las actividades.

4.5.2 PROCEDIMIENTO.

1. Una vez colocada la columna prefabricada en su sitio final, se procede a realizar la conexión estructural de la zapata con las pilas del apoyo.
2. Se habilita el acero requerido por proyecto y se comienza con el armado de la conexión de la zapata.
3. Al término de las actividades de armado se debe realizar limpieza a base de aire comprimido, utilizando un compresor. Esto con la finalidad de dejar limpia de residuos de acero, alambre, madera y polvo la zapata para colar.
4. Se cimbran las 4 caras de la zapata con acabado común y se dejan las preparaciones para alojar las tuberías para desagüe pluvial de la columna.
5. Se utiliza concreto con resistencia de $f'c = 600 \text{ kg/cm}^2$ para la zapata.
6. Rellenos locales:
 - Una vez colocada la pieza zapata-columna y realizados los colados adicionales para su conexión a las pilas, se rellenará la parte exterior de ésta con relleno fluido que deberá cumplir las siguientes especificaciones técnicas:
 - 1) Resistencia mínima a los 28 días como relleno 14 kg/cm^2 .
 - 2) Tiempo de fraguado de 2 a 8 horas.

- En aquellas zapatas que parcialmente invaden la vialidad; se deberá restituir el pavimento retirado para la excavación existente.
- La junta entre carpetas (nueva, existente) deberá realizarse previo retiro de partículas sueltas y flojas que muestren éstas, así como un riego de liga en la pared vertical entre ambas.
- El procedimiento de utilizar un relleno fluido podrá aplicarse para éstos casos, sustituyendo así la restitución de capas de pavimento de la vialidad interferida. Para este caso la resistencia mínima a los 28 días con calidad de base será de 14 kg/cm².
- La colocación del concreto fluido será en una sola emisión, evitando la colocación en capas, pero conservando el escalonamiento, sin embargo, se deberá tener presente las condiciones a que estará sometido, es decir, su utilización solo como relleno o bien como sustitución de la sección de pavimento normal.
- Los rellenos que se coloquen cercanos a las instalaciones hidráulicas deberán ser tendidos con una humedad superior al 2% respecto a la óptima, y serán con material limo-arenoso (tepetate), compactado al 90% AASHTO estándar en capas de 20 cm (máximo) de espesor y obtener un valor relativo de soporte (VRS) de 20% (mínimo).

- Estas especificaciones se complementan con los planos topográficos, estructurales, arquitectónicos y de proyecto geométrico correspondiente.¹⁰



Figura 62. Armado de la conexión de zapata.



Figura 63. Armado final de la zapata.

4.6 MONTAJE DE TRABES.

4.6.1 ANTECEDENTES.

1. El personal de la planta de prefabricados debe verificar en el taller que las trabes “W” se construyan de acuerdo a sus procedimientos y verifican por medio de Control de Calidad que estas cumplan con las especificaciones antes de su traslado al sitio.
2. Previo al traslado y montaje, se deberán colocar elementos estructurales que refuercen la rigidez del elemento como lo son diafragmas y puntales de acero.

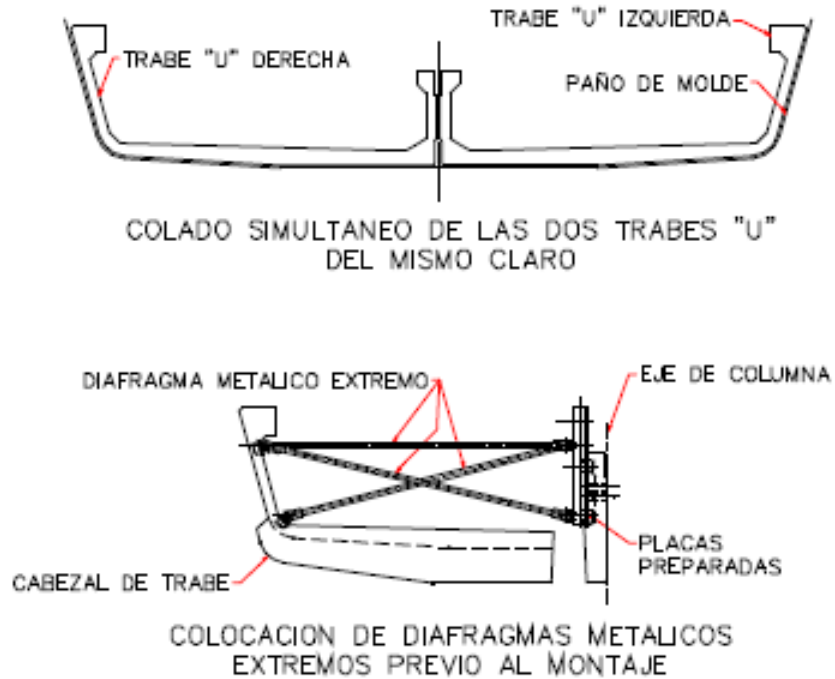


Figura 64. Diafragmas y puntales para traveses "W".

3. La columna donde se montará la trabe, debe de estar totalmente terminada, esto es cada uno de los componentes como lo son: la placa base de nivelación debe estar colada con grout estabilizador, las base de neopreno y los pernos de sujeción alineados.
4. En los capiteles de las columnas se deben acondicionar las zonas donde se instalarán los apoyos de neopreno, para ello Topografía efectúa un levantamiento conforme a los planos y marca una referencia en los pernos sujetadores de la columna, se transportan los niveles con la ayuda de una manguera de nivel y una niveleta manual para presentar la placa base de apoyo de neopreno, con ayuda de pernos niveladores de $\frac{3}{4}$ " se sujeta la placa y se van nivelando aflojando o apretando las tuercas de dichos pernos.

5. Una vez nivelado la placa se aprietan las tuercas de las anclas a tope, enseguida se realiza el armado de la base para colado de grout de la placa base de apoyo de neopreno de 1" de espesor.
6. Es importante dejar las preparaciones listas para las bajadas de tierra así como las bajadas pluviales.
7. Se limpia la placa base inferior y se colocan de abajo hacia arriba el dispositivo del encapsulado dentro de la placa base inferior: Disco de teflón de 1/64" de espesor, pastilla circular de neopreno de 25.4 mm de espesor, disco de teflón virgen de 1/64" de espesor, empaque anular de teflón calibre 16 con baño de teflón deepcoiling.¹⁰



Figura 65. Colocación de encapsulados.

4.6.2 PROCEDIMIENTO.

1. En la obra el Jefe de Frente recibe los elementos y solicita liberación a la supervisión por medio de la Cédula de Inspección de Calidad su montaje.
2. La ubicación de la entrega se localiza lo más próximo a la zona de montaje.
3. Los elementos quedan aprobados en el momento en que se hayan cumplido todos los conceptos indicados en la Cédula de Inspección de Calidad, los cuales deben estar estrictamente autorizados por la supervisión.
4. Se prepara el lugar de montaje con limpieza del apoyo y sus alrededores así como con iluminación suficiente.
5. Las zonas donde se izan los elementos son en los puntos donde no afecten el comportamiento estructural, las cuales quedan definidas desde los planos de taller.
6. Se checan las geometrías y su alineamiento para detectar que en el trayecto del viaje no se hayan dañado los elementos.
7. Las grúas se colocan en sus posiciones de izaje.
8. Se verifican las distancias y niveles de los pernos en capitel y de los apoyos de neopreno.
9. Se preparan los accesorios de conexión entre trabes (pernos de sujeción entre almas y placas metálicas).¹⁰



Figura 66. Llegada de la trabe prefabricada al sitio de montaje.

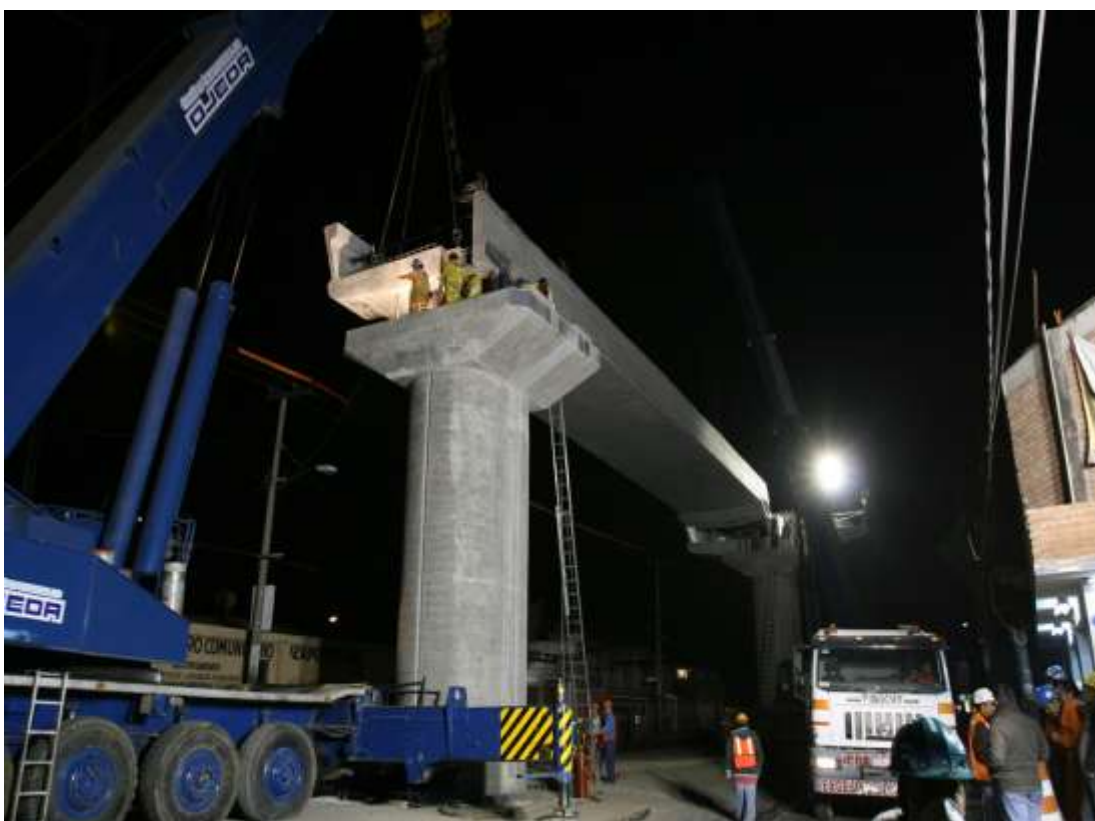


Figura 67. Posicionamiento de las grúas y de la trabe.

MONTAJE

1. Una vez que el tren de transporte de las traveses se coloca cerca de las grúas y de las columnas donde se apoyarán éstas, se estroban de los ganchos en los extremos de la trabe para comenzar el izaje y trasladarlas hasta su posición final.
2. Topografía verifica medidas y en caso dado de que haya que hacer ajuste en las medidas se realicen con tiempo.
3. Teniendo la pieza liberada por parte de Topografía se procede a izar la trabe hasta sus apoyos correspondientes.
4. Cuando la pieza termina de ser colocada, Topografía verifica su nivelación de proyecto y al término se ajusta su posición con pernos de sujeción y tuercas para poder desenganchar la trabe de las grúas y que permanezca fija en su lugar.
5. Ya desenganchada la trabe, las grúas descienden las plumas para continuar con el montaje de una segunda trabe y así completar la trabe.
6. Teniendo el complemento de la trabe se continúa con el mismo procedimiento anterior.
7. Al término del montaje se procede a realizar la limpieza necesaria y no dejar alguna obstrucción en la vialidad. Las grúas se desarman y se colocan dentro del confinamiento de seguridad para no estropear el tránsito.¹⁰



Figura 68. Estrobado de la trabe previo al montaje.



Figura 69. Izaje de trabe a los puntos de apoyo.



Figura 70. Ensamble de columna con trabe.



Figura 71. Montaje de traves finalizado.

4.7 TRABAJOS COMPLEMENTARIOS EN TRABES.

4.7.1 PLACAS DE CONEXIÓN

Las placas de conexión tipo “H” son elementos utilizados para ligar los elementos prefabricados, en este caso, las dos traveses “U”. Una vez finalizado el montaje de ambas traveses, se procede a soldar estos elementos que formarán parte estructural de los elementos al mantenerlos ligados para después ahogarlos en concreto con la llamada nervadura central.¹⁰

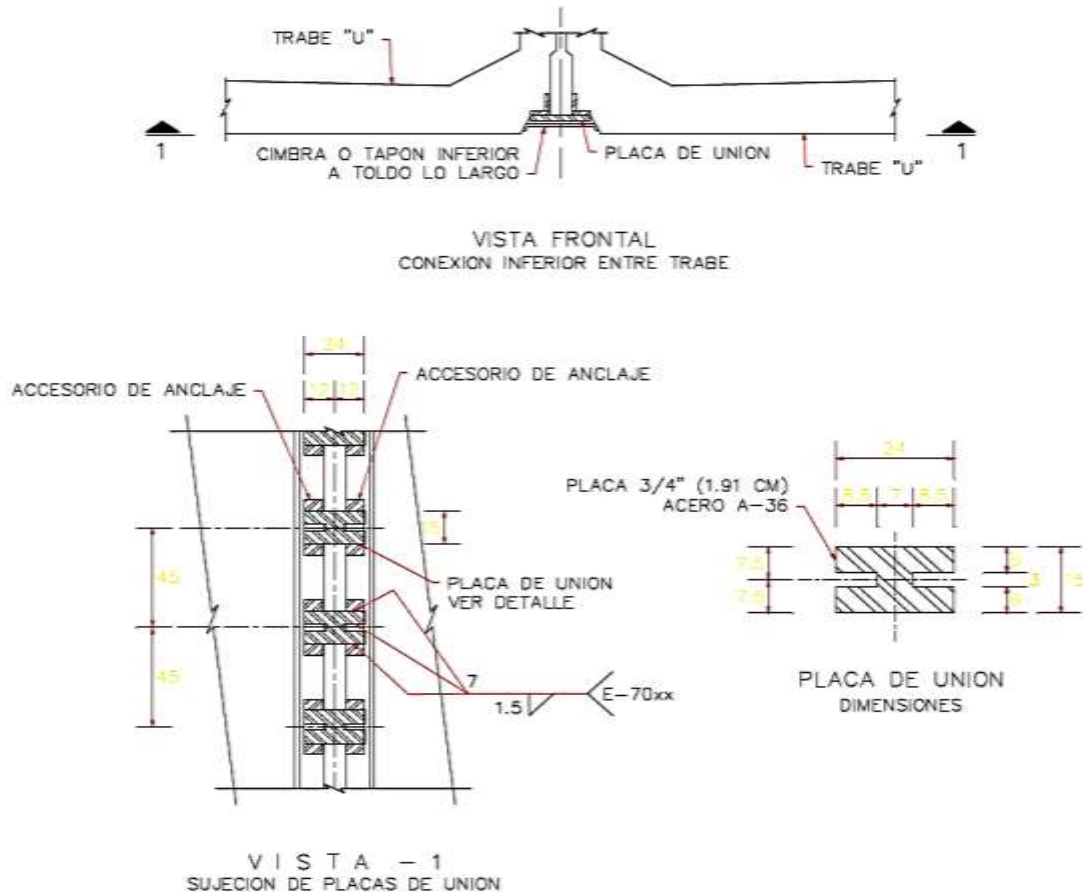


Figura 72. Detalle de sujeción de placas “H”

4.7.2 BULBO SUPERIOR.

Se continúa con los trabajos de unión y fijación de traveses, en este caso, el armado y el colado del bulbo superior. Dicho bulbo está conformado por la unión de las varillas de las almas centrales de las traveses en el nivel superior, las cuales se entrelazan y después se cuelan para formar la última unión de las traveses y así dar seguimiento al retiro de los diafragmas metálicos. El concreto que se utiliza es de $f'_c = 600 \text{ kg/cm}^2$.¹⁰

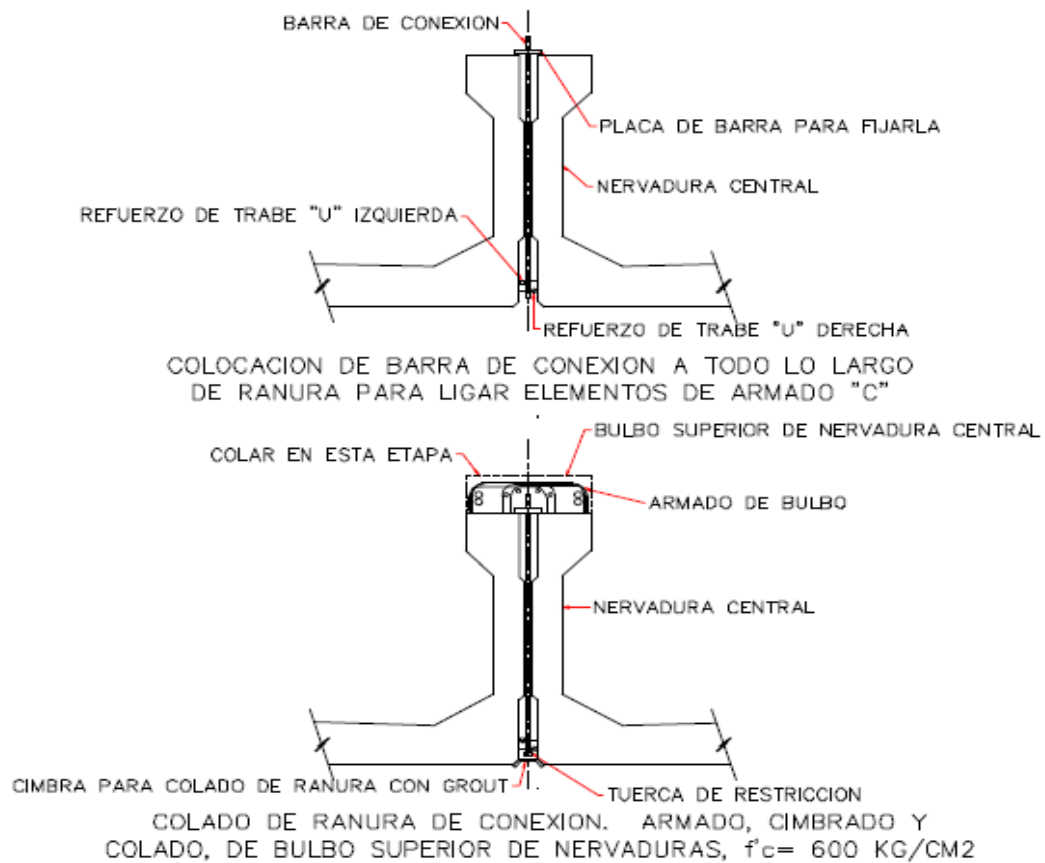


Figura 73. Detalle de unión del bulbo superior en traveses.



Figura 74. Varillas para armado de bulbo superior a lo largo de las trabes.



Figura 75. Armado de bulbo superior.



Figura 76. *Vista de bulbo terminado.*

4.7.3 MUROS TRINCHERA.

También conocidos como muros para instalaciones, son elementos secundarios donde su función es delimitar la zona de las instalaciones del metro, la carga que va a soportar es únicamente la cubierta de éste (tapas poliméricas) y contención de balasto. Tienen 15 cm de espesor y una altura de 90 cm, colados con un concreto de resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.¹⁰

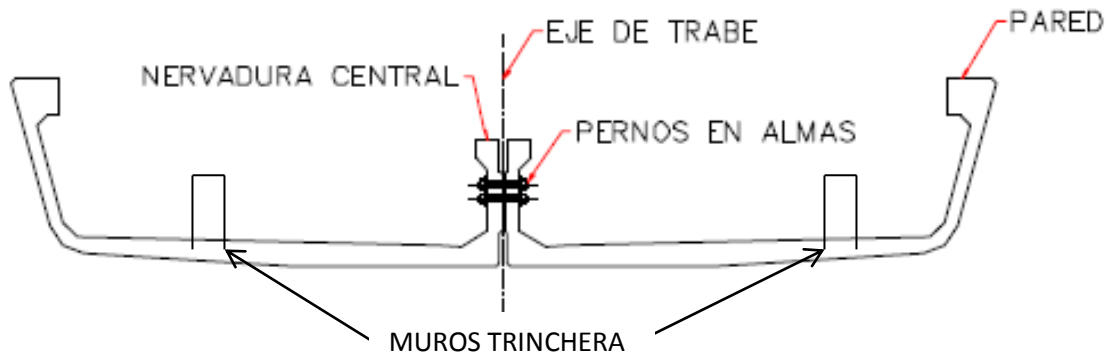


Figura 77. Esquema de localización de muros trinchera.



Figura 78. Colado de muro trinchera.

4.7.4 FIRME NIVELADOR.

El firme nivelador debe comprender la colocación de la malla equipotencial o malla electrosoldada 6-6/10-10 junto con un sistema de tierras que estará formado por varillas de cobre de 16 mm de diámetro y una

longitud de 30-50 mm y cables de aluminio desnudos calibre 4/0 awg el cual se ubicará a una separación mínima de la cimentación de 0.80 m y a una profundidad de 0.30 m del nivel de terreno. Todas las uniones del sistema de tierras deberá hacerse con uniones soldables tipo caldweld. La conexión del sistema de tierras desde la varilla hasta la conexión con la malla equipotencial será con cable de aluminio desnudo 4/0 awg.



Figura 79. Colado de firme nivelador.

La malla se colocará sobre la losa de la trabe y se recubrirá con una capa de mortero cemento-arena de 0.03 m teniendo especial cuidado de que se conserve la pendiente original de la losa. Esto puede variar en cuanto a

espesor y en cuanto a mortero sustituyéndolo por concreto ligero, dependiendo las condiciones y cambios por parte de proyecto.¹⁰



Figura 80. *Aplanado de firme para dar pendiente.*

4.7.5 COLOCACIÓN DE BALASTO, DURMIENTES Y VÍAS.

Partiendo de las referencias topográficas de trazo, perfil y gálbos, implantadas a partir del proyecto ejecutivo en los muros en donde se realizaran los trabajos de vías, se procede a realizar lo siguiente:

1. PRIMERA CAPA DE BALASTO.

A partir de las referencias marcadas en los muros, se realizan marcas a la altura a la que llegará la primera capa de balasto. Se

procede a distribuir el balasto por medio de vehículos independientes (minicargador, cargador frontal, etc.) en toda la sección de la vía, la cual será de 20 a 30 cm. Posteriormente se plancha con un rodillo mecánico dejando una superficie plana.



Figura 81. *Repartición de balasto en losa de trabes.*

2. DISTRIBUCIÓN DE DURMIENTES Y TENDIDO DE LA VÍA.

Por medio de equipo mecánico se procede a la distribución de los durmientes de concreto con una separación aproximada de 75 cm entre ejes de durmientes en tangentes y a cada 60 cm. en curva. Posteriormente se efectúa la distribución de los rieles de 115 RE de una longitud máxima de 18 m, mediante rodillos metálicos,

pórticos de sustitución y/o tenazas, las cuales permitirán el desplazamiento de los rieles a lo largo de los frentes de trabajo.

Los rieles se montan en los durmientes de concreto sobre las almohadillas acanaladas de hule de 9.0 mm de espesor, y es fijado al durmiente de concreto mediante grapas tipo nabra, pernos y tuercas RN.

Se efectúan marcas en el patín del riel a la cual se efectuara la fijación definitiva del durmiente de concreto al riel. La trocha nominal de la vía es de 1.435 m (+ 3, - 1.5 mm).

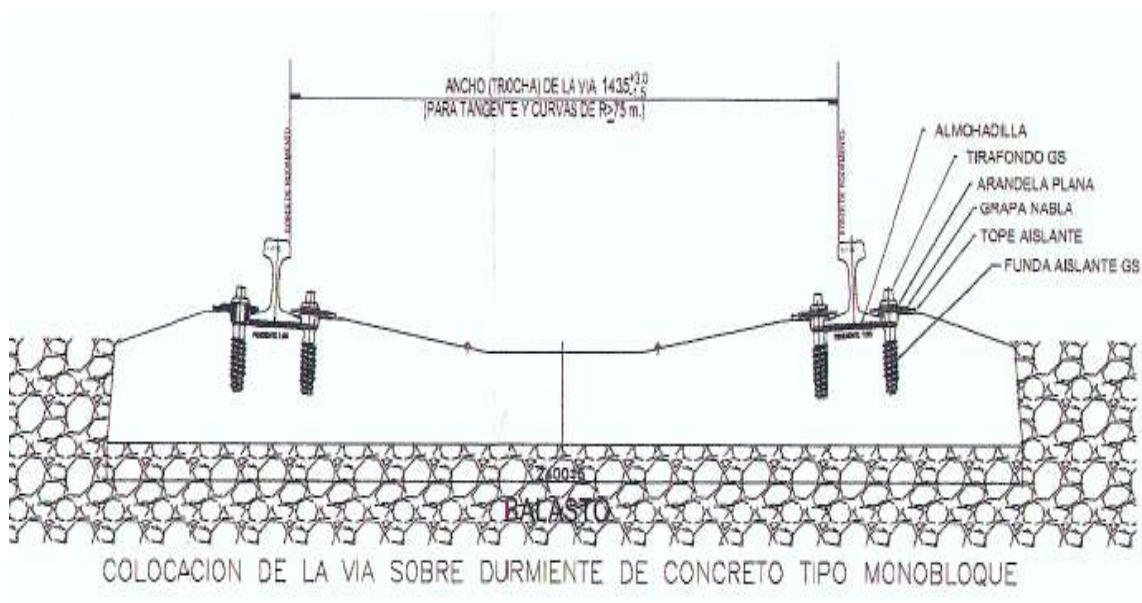


Figura 82. Detalle de colocación de vías sobre durmientes.



Figura 83. Descarga y acomodo de durmientes.



Figura 84. Instalación de rieles.



Figura 85. Soldadura aluminotérmica en rieles.

3. SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA EN LOS RIELES.

La unión de los rieles de 115 RE se efectuará mediante soldadura aluminotérmica, el espacio necesario entre los extremos de los rieles para la ejecución de las soldaduras, será conservado por medio de separadores adecuados, las juntas de riel son concordantes y en voladizo entre dos durmientes.

4. BALASTO 2ª CAPA, NIVELACION Y ALINEACION DE LA VIA.

Después del armado de la vía y de la colocación directa de la vía sobre la primera capa de balasto, se procede al abastecimiento

del balasto 2ª capa, a la elevación de la vía hasta el nivel fijado, su alineación, arreglo y bateado.

El suministro del balasto 2ª capa se realiza mediante vehículos mecánicos y balasteras que accesarán a la obra para realizar la descarga de balasto por la vía pre armada. Se efectúa un primer alzado de la vía para efectuar el acomodo del material de compactación, se completa el llenado de la vía con más balasto y se efectúa un 2º levantamiento, en el cual se aproxima la vía hasta en 0.020 m bajo la rasante de proyecto.¹¹



Figura 86. Alineación y nivelación de vías.

¹¹ Boletín Construcción de Vías para Trenes de Rodada Férrea, Consorcio Línea 12.



Figura 87. Vista aérea del viaducto elevado.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Debido al anárquico crecimiento poblacional de la Ciudad de México, se requiere de la planeación, restructuración y construcción de nuevas obras viales y de transporte que satisfagan la demanda de movilidad de los ciudadanos.
2. Especialmente al sur-oriente de la Ciudad donde se concentran problemas de altos índices de población y de saturación vial por el transporte público y privado.
3. Esto se resume a que se requiere un sistema de transporte masivo de pasajeros que además de trabajar en forma rápida, segura y económica; sea amigable con el medio ambiente, así que se recurre a la opción del metro.
4. La denominada *Línea 12: Línea del Bicentenario*, consiste en una línea que recorre de oriente a sur, de Tláhuac a Mixcoac 25.1 km en distintas secciones constructivas. (Superficial, Elevada, Subterránea y Profunda). Además ayudará a desahogar la demanda de líneas cercanas como la 2, 3, 7 y 8.
5. En este caso, es la sección elevada la cual se describe y que consta de 12 km en total sobre Av. Tláhuac, pero que sólo se contempla en el estudio aproximadamente 1.4 km. Específicamente de la Estación San Andrés Tomatlán a la Estación Santa María Tomatlán.
6. Dentro de la planeación del proyecto se opta por utilizar piezas prefabricadas para el viaducto elevado, esto debido a que se agilizan

tiempos de construcción y se disminuyen problemas viales debido a que los montajes se realizan por la madrugada, donde el tránsito vehicular y peatonal que corre por Av. Tláhuac es prácticamente nulo.

7. Las piezas prefabricadas se dividen en 2, zapata-columna-capitel y traveses tipo "U".
8. El tramo en estudio se encuentra localizado en zona de lomas en mayor proporción que de transición. Es por ello, que se elige la solución de cimentación del viaducto a base de pilas de 80 y 120 cm de diámetro.
9. Un procedimiento constructivo se define como el conjunto de normas, especificaciones y metodología a seguir para realizar de forma óptima una actividad dentro de la obra.
10. Dichos procedimientos constructivos se deben elaborar por un ingeniero especialista que avale la seguridad y eficacia de estos.
11. Durante la construcción deberá contarse con un supervisor técnico que garantice el cumplimiento de los procesos constructivos así como la seguridad de la obra.
12. Es de suma importancia contar con el material, equipo y maquinaria adecuados para realizar las actividades, de lo contrario se verá reflejado en la calidad del trabajo, lo que conlleva a retrasos en el programa, costo y mala imagen.
13. Para los montajes de las piezas prefabricadas se necesitan grúas con capacidades superiores a las del peso de cada pieza, en éste caso se

utilizaron dos grúas de 500 ton y 300 ton respectivamente y un equipo de maniobras especializado en montajes de este tipo.

14. Los concretos y aceros a utilizar deben ser los que marca cada especificación para así garantizar la seguridad estructural.
15. Todo proyecto involucra retos, pero depende de los ingenieros el proponer soluciones prácticas o innovadoras que permitan la optimización de recursos, tiempos y costos.
16. La seguridad y el medio ambiente juegan un papel importante en toda obra, así que se debe mantener especial cuidado en ello y evitar daños irreversibles.

RECOMENDACIONES

1. El Metro de la Ciudad de México es sin duda un exponente de la ingeniería mexicana, gracias a esto, es necesario que para la construcción de éste, el ingeniero deba apearse estrictamente a la normativa, especificaciones, diseño, procesos, materiales, maquinaria, personal, seguridad y operación que requiere el proyecto.
2. Es necesario prever las condiciones climáticas para tener un mejor control del programa de obra.
3. Procurar darle el mayor uso o reciclar la mayoría de los insumos en estado regular como: madera, clavos, acero, etc. Y con esto contribuir a la economización de recursos.

4. Destinar espacios para agrupar material de desperdicio y basura. Un lugar de trabajo limpio, refleja buena imagen del ingeniero y el equipo de trabajo.
5. Cuantificar bien los materiales para no desperdiciar o en su defecto, para no quedar cortos.
6. Mantener el equipo de seguridad en óptimas condiciones para así evitar accidentes en obra.
7. Contar con los planos autorizados por Control de Documentos para su ejecución. Planos sin firma o sello de autorización no se recomienda la ejecución.

BIBLIOGRAFÍA

1. Portal de Internet del Sistema de Transporte Colectivo Metro, www.metro.df.gob.mx
2. Aceves Flores Jessica y Rodríguez Zamorano Javier, "Viaducto Elevado de la Línea 12 del Metro". Artículo publicado en Revista IC CICM No. 502, p 10-14, 2011.
3. Botero Eduardo, Méndez Bogart, Romo P. Miguel, "Evaluación de los movimientos sísmicos incoherentes en estructuras lineales", Memorias XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Publicación SMMS, Acapulco, Gro. 2010.
4. Empresas ICA, "Treinta Años de Hacer el Metro. Ciudad de México", Ed. Espejo de Obsidiana, México, 1997.
5. Artículo <http://www.cicm.org.mx/2030/CICM23febrero2011.pdf> por CICM.
6. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del D.F. CICM
7. Grupo ICA. "Manual de Procedimientos Constructivos" México, 1991.
8. Frías Hernández, Enrique. Tesis Profesional. "Procedimiento Constructivo de la Estación Guerrero entre las cads. 22+635.392 al 22+797.392 del Metropolitano Línea B", 2001. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón. UNAM
9. Calderón Calderón, Salvador. Tesis Profesional. "Cimentación del Distribuidor Vial Periférico-Muyuguarda", 2007, Facultad de Ingeniería. UNAM

10. Viveros Cerón, Elsa. "Plan de Ejecución Viaducto Elevado", ICA CU, México, 2010.
11. Boletín Construcción de Vías para Trenes de Rodada Férrea, Consorcio Línea 12.