



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EL ESCUDO DE PRESIÓN BALANCEADA EN LA  
ESTACIÓN ZAPATA DE LA LÍNEA 12 DEL METRO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**VICTOR MANUEL ROMERO ROMERO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ**



**MÉXICO, D.F., CIUDAD UNIVERSITARIA 2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Señor  
VÍCTOR MANUEL ROMERO ROMERO  
Presente

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/123/14

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERÍA CIVIL

"EL ESCUDO DE PRESIÓN BALANCEADA EN LA ESTACIÓN ZAPATA DE LA LÍNEA 12 DEL METRO"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE LA LÍNEA 12
- III. DESCRIPCIÓN DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ESCUDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS
- IV. LA ESTACIÓN ZAPATA
- V. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 10 de Septiembre de 2014  
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

M. EN J. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH



## **DEDICATORIAS**

**Con cariño y respeto a mis Padres:**

Como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por mi experiencia, valores morales y formación profesional.

Porque sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida por formarme y porque nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con todas las riquezas del mundo.

Por lo que soy y por todo el tiempo que les robé pensando en mí. GRACIAS.

**A mi hermano y hermanas:**

Que siempre me han dado su apoyo y me han servido de ejemplo para poder dar este importante paso en mi vida.

**Víctor Manuel Romero Romero**



## AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por ubicarme en donde lo hizo, mostrándome que las caídas, no son fracasos, sino experiencias para ser mejor.

A la **UNAM** que es la máxima casa de estudios, por hacer posible uno de los sueños más importantes de mi vida.

A la **Facultad de Ingeniería** por ser parte de lo que soy y pilar de lo que seré.

Al **Maestro en Ingeniería Carlos Manuel Chavarri Maldonado<sup>†</sup>** por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, por sus amplios conocimientos, guía y apoyo fundamentales para poder realizar este trabajo.

A mi director de Tesis **Ingeniero Marcos Trejo Hernández**, que por su tiempo, dedicación, paciencia y conocimiento, fue posible la conclusión de esta Tesis, con la proyección de un futuro promisorio.

A todos **los profesores** que han sido parte de mi formación profesional y que me han servido de ejemplo y apoyo y me han dado su conocimiento.

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida.

Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y mi corazón.

Sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado ya que al final soy la suma de todos aquellos que directa o indirectamente han tocado mi vida de diferentes maneras.

**Víctor Manuel Romero Romero**



## **CONTENIDO**

Objetivo.....	I
1 Antecedentes.....	1
1.1 México, D. F. ....	2
1.2 Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México .....	5
2 Descripción del Proyecto de la Línea 12 .....	21
2.1 Parámetros operativos de diseño de la línea .....	21
2.2 Línea “Dorada” .....	22
2.2.1 Talleres Tláhuac.....	24
2.2.2 Estaciones.....	27
2.2.3 Señalamiento .....	39
2.2.4 Proyecto operativo .....	41
3 Descripción de los diversos tipos de escudo para la construcción de obras subterráneas.....	43
3.1 Métodos para la construcción de túneles.....	48
3.2 Maquinaria para realizar túneles .....	52
4 La Estación Zapata.....	57
4.1 Descripción del proyecto Línea 12 del Metro .....	57
4.1.1 Fotos del Escudo de Presión Balanceada utilizado en la estación Zapata...59	
4.2 Uso de escudo para la construcción subterránea de la estación Zapata.....	65



## EL ESCUDO DE PRESIÓN BALANCEADA EN LA ESTACIÓN ZAPATA DE LA LÍNEA 12 DEL METRO

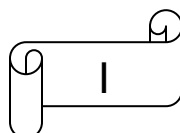
---

4.2.1	Desembarcación de tuneladora para Línea 12 del Metro .....	65
4.2.2	Información Geotécnica en la salida de lumbrera .....	66
4.2.3	Inicio y avance del proceso de excavación con escudo EPB .....	67
4.2.4	Control de presiones frontales .....	69
4.2.5	Control de volúmenes de Inyección .....	71
4.3	Control de hundimientos sobre el eje del tunel .....	72
4.4	Hundimientos sobre la línea de colimación ( 5m al sur del eje del tunel ) .....	72
5	Conclusiones .....	74
	Bibliografía .....	76



## OBJETIVO

Describir el proceso de construcción de la estructura de la estación Zapata de la línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo (METRO) de la Ciudad de México a través de la recopilación y análisis de la información proporcionada por el Proyecto Metro del Distrito Federal (PMDF) para documentar tales procesos constructivos debido al gran reto que ha representado la realización de este proyecto de grandes magnitudes.





# 1 ANTECEDENTES

El hombre para su supervivencia tiene la capacidad de crear los elementos que cubran sus necesidades vitales, físicas, y/o intelectuales; la necesidad y su satisfacción es el origen del desarrollo y creación de mecanismos para resolver la existencia de elementos que sirven para dar solución a los requerimientos del medio social en que se manifiesta mismos que siempre están condicionados materialmente y se desarrollan dependiendo de exigencias socialmente objetivas.

La relación del hombre con el entorno consiste, tanto en la adaptación como en el deseo de cambio. El participar en las comunidades y el tener acceso a las redes conforman dos modos de pertenecer a la ciudad.

La ciudad se concibe generalmente como un sistema de objetos y espacios distribuidos de forma que intenten solucionar una necesidad colectiva y que ejerzan determinadas funciones en una población específica.

La ciudad es un conjunto de territorios constituidos formalmente que comprenden una agrupación de personas y un espacio adoptado para alojarlas, este conjunto debe ser permanente y heterogéneo conformado por comunidades con identidades más o menos identificadas con su territorio.

La estructura en la ciudad se articula no sólo con la ordenación de las viviendas, sino también con la distribución del equipamiento, la jerarquía de los espacios y el uso de los elementos.

Cualquiera que sea la actividad preponderante de ésta siempre se subordina a las facilidades de desplazamiento de sus habitantes y de los recursos y mercancías que requieren para su subsistencia; la población se mueve entre sus casas y el trabajo, comercios, escuelas o lugares de recreación. Las mercancías se mueven del lugar donde son producidas a los lugares de consumo, en este sentido las redes son un medio de intercambiar actividades.





Una de las funciones primordiales de la infraestructura es vincular entre sí a los asentamientos humanos y resolver las necesidades internas entre los mismos; dentro de ésta, la ubicación de cada elemento que la conforma no es casual ya que para su creación siempre se parte de un proceso de análisis y programación dando por resultado un sistema que establece relaciones funcionales entre todos los elementos que lo componen y los servicios que brindan a la población de tal modo que un equilibrio social entre la demanda y la oferta.

El transporte por su naturaleza tiene una función geográfica dirigida a facilitar la relación del hombre con su territorio, una función económica ya que desplaza objetos hacia núcleos de producción o consumo así como mano de obra a sus centros de trabajo, una función política y estratégica al integrar distintos espacios físicos facilitando y formando las relaciones entre los diferentes ámbitos geográficos, una función de índole social y recreativa al actuar en el incremento de la libertad y movilidad de las personas infiriendo en el uso del tiempo de ocio, de la cultura y del desarrollo de relaciones interpersonales, entre otros.

El hombre es un ser que cotidiana y habitualmente se transporta y transporta, las actividades y las comunicaciones presentan una relación mutua, las comunicaciones de personas y objetos se generan para conectar actividades. Las vías que vinculan al hombre con su medio son las calles, estas se conforman como los elementos estructuradores de la ciudad.

### **1.1 México, D. F.**

La Ciudad de México o Distrito Federal es la capital y sede de los poderes federales de los Estados Unidos Mexicanos, constituyen una de sus 32 entidades federativas y forma con la Zona Metropolitana del Valle de México la aglomeración urbana más poblada de América y una de las más pobladas del mundo.

La Ciudad de México se ubica en el Altiplano Central, Figura 1, en la región conocida como la cuenca del Valle de México, todas las sierras que la conforman son de origen volcánico siendo este uno de los aspectos físicos que caracterizan a la misma cuenca.



**Figura 1. Ubicación del Distrito Federal**

Se fundó sobre el sitio que ocupó México – Tenochtitlán, sus edificaciones en un inicio fueron desplantadas en zona lacustre, en una isla de casi 11 km cuadrados de extensión rodeada de lagunas de poca profundidad.

Su superficie ocupa poco más de 1,400 km cuadrados, la décima parte de la cuenca de México. En 2010 vivían ahí más de ocho millones de habitantes, por lo que la capital es la segunda entidad federativa mexicana con mayor población, después del Estado de México.

El territorio del actual Distrito Federal (D.F.) ha sido históricamente una de las zonas más pobladas de México. Hacia principios de la época independiente, la mancha urbana de la Ciudad de México se hallaba restringida más o menos a lo que hoy es la delegación Cuauhtémoc. A principios del siglo XX, cuando Porfirio Díaz gobernaba México, las elites del D.F. comenzaron una migración hacia el sur y el poniente. Pronto, pueblos como Mixcoac o San Ángel fueron convertidos en sitios de recreo o descanso por los miembros de las clases altas de la ciudad. La tendencia de las clases acomodadas a trasladar su residencia al poniente de la ciudad se reforzó a lo largo de todo el siglo XX.

En los terrenos que fueron ganados al lago a causa de la desecación de la cuenca, fueron habilitados nuevos fraccionamientos habitacionales llamados colonias con el propósito de



dar cabida en ellas a los miembros de las clases medias y bajas. La primera de ellas es la que en la actualidad se conoce como la Colonia Doctores, formada hace un siglo con el nombre de colonia de los Arquitectos. A ella siguieron otras como Obrera y Morelos (destinadas a la clase popular), y Roma y Juárez (ocupadas por la burguesía porfiriana).

En la década de 1950, el área urbana del D.F. empezó a desbordarse del territorio de las delegaciones centrales hacia los terrenos desocupados de las delegaciones periféricas. En el transcurso de las décadas siguientes, la población de la Ciudad de México se multiplicó por dos en intervalos de veinte años más o menos. El crecimiento se explica por la alta concentración de la actividad económica industrial en el Valle de México. Esta concentración estimuló la inmigración proveniente de los estados del país, especialmente de estados pobres como Puebla, Hidalgo, Oaxaca y Michoacán.

Hacia la década de 1980, el D.F. era la entidad más poblada de la República Mexicana. Tras el sismo de 1985, buena parte de la población de las delegaciones más afectadas se fue a residir a las delegaciones del sur del D.F. En 1990, la mancha urbana de la ciudad ocupaba una superficie mayor que en el censo anterior, con una población más reducida. A partir de entonces, el D.F. como entidad federativa únicamente ha dejado de ser la entidad más poblada de México, Figura 2.



**Figura 2. Imagen de la Ciudad de México.**



## 1.2 Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México

El Metro de la Ciudad de México es un sistema de transporte público tipo tren pesado que sirve a extensas áreas del Distrito Federal y parte del estado de México. Su operación y explotación está a cargo del organismo público descentralizado Sistema de Transporte Público (STC) mientras su construcción queda a cargo del organismo de la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal (PMDF). Se conoce coloquialmente como METRO por la contracción de tren metropolitano, en la Figura 3 se muestra un tren del METRO.



Figura 3. Imagen del Metro de la Ciudad de México.

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 (en ocasiones superado por los metros de: Nueva York, Moscú y Tokio). También en ese año logró el quinto lugar a nivel mundial por la extensión de su red, Figura 4.

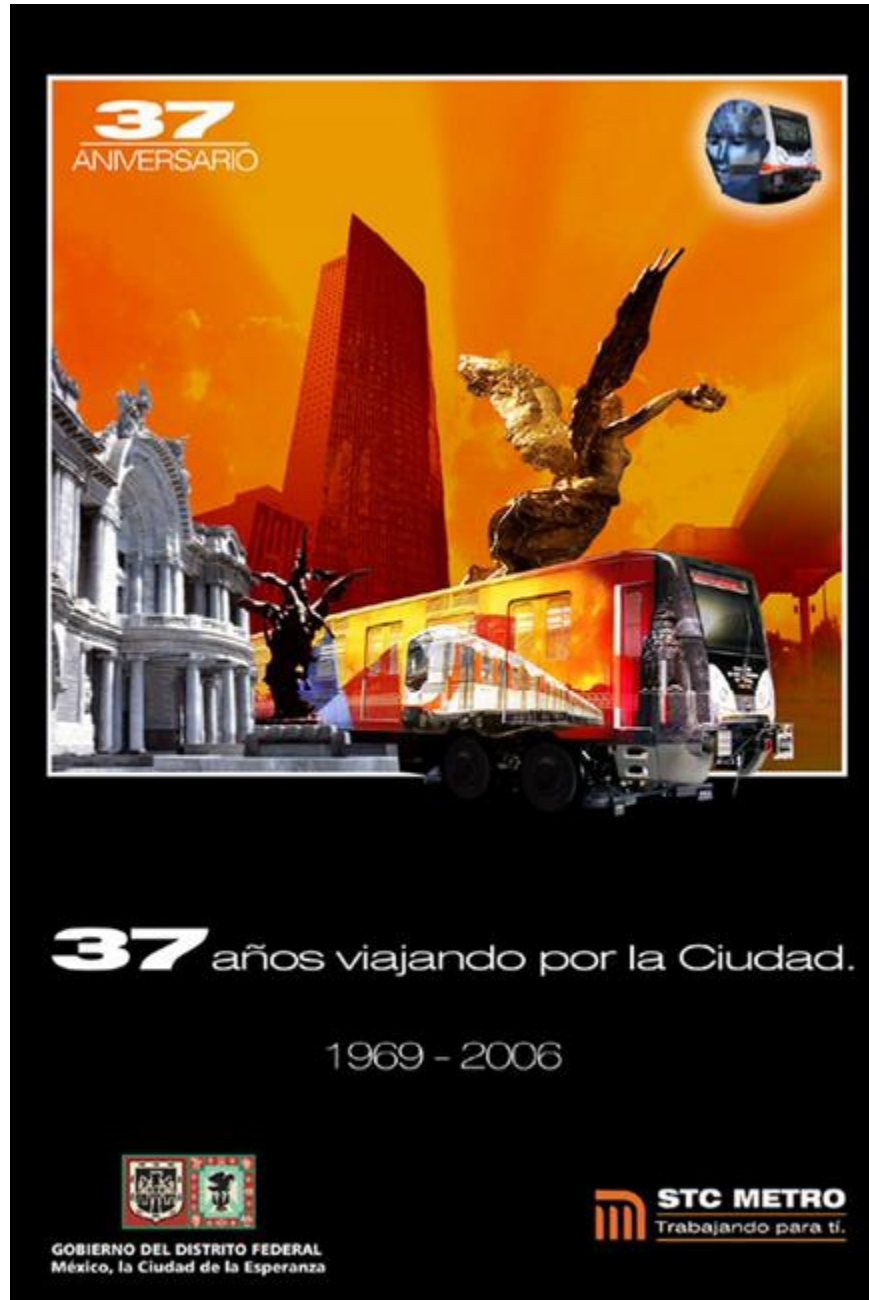


Figura 4. Poster 37 Aniversario STC METRO.

El Metro de la Ciudad de México cuenta hasta ahora con 11 líneas. Cada línea tiene asignado un número y un color distintivo (números del uno al nueve y las letras A, B). El parque vehicular está formado por los trenes de rodadura neumática a excepción de la línea A que emplea trenes de rodadura férrea. La extensión total de la red es de 201,388 kilómetros y posee un total de 175 estaciones de las cuales: 112 son de paso, 41 de transbordo y 22 terminales (11 de las terminales son de transbordo). El metro está

Víctor Manuel Romero Romero



construido de forma subterránea, superficial y viaducto elevado: 106 estaciones son subterráneas, 53 superficiales y 16 en viaducto elevado. 164 estaciones se encuentran en la Ciudad de México y 11 en el Estado de México. La Figura 5 muestra la red actual del metro.



Figura 5. Mapa de las 11 líneas actuales del STC METRO de la Ciudad de México

Las grandes ciudades se caracterizan con conflictos viales debidos a la elevada demanda de trasporte e intensa actividad económica. El Distrito Federal inició el Siglo XX con aproximadamente 540 mil habitantes y 800 vehículos para satisfacer su demanda de transporte. Para 1953 la población se había incrementado a 3.5 millones y en 1960 la cifra



superaba a los 4.5 millones. Para 1964 había una fuerte tendencia hacia los 5 millones de habitantes en contraste con las 7,200 unidades de transporte público que circulaban por la capital (casi un 40% de los viajes totales se hacían en el centro de la ciudad).

La función de un sistema de transporte urbano como el Sistema de Transporte Colectivo Metro consiste en desplazar personas y bienes de un lugar a otro quedando esta acción definida tanto por la localización de los puntos intermedios y terminales (estaciones) como por los canales de movimiento (vialidades), permitiendo dar un mejor uso al tiempo activo en el desarrollo de otras actividades en el día y que a nivel macro el sistema permita el transporte de grandes masas de usuarios con un grado de confort aceptable optimizando el costo del servicio.

Existen antecedentes poco documentados sobre las propuestas de trenes metropolitanos en la Ciudad de México: estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México, en 1958, presentaron el proyecto de un monorraíl para la Ciudad de México como tema de tesis; en 1960 Vicente S. Pedrero y Ramón C. Aguado presentaron al Departamento del Distrito Federal estudios de factibilidad para la construcción de un monorraíl, y en 1965 José María Fernández desarrolló un proyecto para la construcción de un sistema de transporte elevado y subterráneo.

El ingeniero Bernardo Quintana Arrijoja (1919-1984), fundador de la empresa mexicana Ingenieros Civiles Asociados, SA de CV, hoy empresa ICA, SAB de CV, elaboró estudios que permitieron la creación de un anteproyecto, y posteriormente un proyecto, para la construcción de un sistema de transporte masivo en la Ciudad de México. La propuesta del proyecto se presentó en 1958 a Ernesto P. Uruchurtu, Regente de la Ciudad de México de 1952 a 1966, quien la rechazó al considerarla económicamente costosa. Además, el 28 de julio de 1957, un sismo de 7 grados en la escala Richter dañó diversos edificios del centro de la ciudad, hecho que provocó la desconfianza entre las autoridades para construir proyectos de grandes dimensiones como el presentado por Quintana.

Quintana presentó nuevamente su proyecto de transporte en el sexenio de Gustavo Díaz Ordaz, presidente de México de 1964 a 1970. De nueva cuenta el obstáculo resultó el costo elevado de la obra. Gustavo Díaz Ordaz decidió aprovechar el acercamiento del presidente francés Charles de Gaulle hacia Latinoamérica. Alex Berger, empresario francés, entonces esposo de la actriz María Félix, amigo de Quintana, fungió como



mediador entre los gobiernos francés y mexicano para la obtención del crédito. Como resultado de la negociación el gobierno mexicano cubrió el costo de la obra civil, estudios de geotecnia, diseño de estaciones, entre otros, el gobierno francés la obra electromecánica. La obra tuvo un costo total de MXP\$ 2 530 millones, de los cuales, MXP\$ 1 630 millones provinieron del crédito francés y MXP\$ 900 millones por parte del departamento del Distrito federal.

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

En el cruce de Av. Chapultepec con la calle Bucareli, el 19 de junio de 1967, se realizó la ceremonia de inicio de la obra para construir la línea 1 del Sistema de Transporte colectivo.

El 4 de septiembre de 1969 Gustavo Díaz Ordaz y Alfonso Corona de Rosal, regente del Distrito Federal de 1966 a 1970, inauguraron formalmente el servicio entre las estaciones Chapultepec y Zaragoza. Un tren construido por la compañía francesa Alstom, modelo MP-68, decorado con franjas tricolores y el escudo nacional mexicano a sus costados, realizó el recorrido inaugural entre las estaciones Insurgentes y Zaragoza.





### Línea 1

Tiene una longitud de 18.828 km (en servicio 16.654 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 20 estaciones, siete de ellas de correspondencia, 12 de paso y dos terminales; del total, 19 estaciones son subterráneas y una superficial. La fecha de inicio y terminación de la línea 1 del Metro, se observa en la Tabla 1.



Tabla 1. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones Inauguradas	Tramo	Fecha	Km. Inaugurados	Km. Acumulados en la línea
16	ZARAGOZA - CHAPULTEPEC	4 de septiembre de 1969	12.660	12.660
1	CHAPULTEPEC - JUANACATLAN	11 de abril de 1970	1.046	13.706
1	JUANACATLAN - TACUBAYA	20 de noviembre de 1970	1.140	14.846
1	TACUBAYA - OBSERVATORIO	10 de junio de 1972	1.705	16.551
1	ZARAGOZA - PANTITLAN	22 de agosto de 1984	2.277	18.828



### Línea 2

Tiene una longitud de 23.431 km (en servicio 20.713 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 24 estaciones, 5 de ellas de correspondencia, 17 de paso y dos terminales; del total, 14 estaciones son subterráneas y 10 superficies. La fecha de inicio y terminación de la línea 2 del Metro, se observa en la Tabla 2.



Tabla 2. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
11	TASQUEÑA - PINO SUAREZ	1 de agosto de 1970	11.321	11.321
11	PINO SUAREZ - TACUBA	14 de septiembre de 1970	8.101	19.422
2	TACUBA - CUATRO CAMINOS	22 de agosto de 1984	4.009	23.431



### Línea 3

Tiene una longitud de 23.609 km (en servicio 21.278 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 21 estaciones, 6 de ellas de correspondencia, 13 de paso y 2 terminales; del total, 17 estaciones son subterráneas y 4 superficies. La fecha de inicio y término de la línea 3 del Metro, se observa en la Tabla 3.



Tabla 3. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
7	TLATELOLCO - HOSPITAL GENERAL	20 de noviembre de 1970	5.441	5.441
1	TLATELOLCO - LA RAZA	25 de agosto de 1978	1.389	6.830
3	LA RAZA - INDIOS VERDES	1 de diciembre de 1979	4.901	11.731
1	HOSPITAL GENERAL - CENTRO MEDICO	7 de junio de 1980	0.823	12.554
4	CENTRO MEDICO- ZAPATA	25 de agosto de 1980	4.504	17.058
5	ZAPATA - UNIVERSIDAD	30 de agosto de 1983	6.551	23.609



### Línea 4

Tiene una longitud de 10.747 km (en servicio 9.363 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 10 estaciones, 6 de ellas de correspondencia - incluidas dos terminales-, y 4 de paso; 2 estaciones son superficies y 8 elevadas. La fecha de inicio y terminación de la línea 4 del Metro, se observa en la Tabla 4.



Tabla 4. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
7	MARTIN CARRERA - CANDELARIA	29 de agosto de 1981	7.499	7.499
3	CANDELARIA - SANTA ANITA	26 de mayo de 1982	3.248	10.747



### Línea 5

Tiene una longitud de 15.675 km (en servicio 14.435 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 13 estaciones, 5 de ellas de correspondencia incluida una de sus terminales, 7 de paso y una terminal más; del total, 4 estaciones son subterráneas y 9 superficies. La fecha de inicio y terminación de la línea 5 del metro, se observa en la Tabla 5.



Tabla 5. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
7	CONSULADO - PANTITLAN	19 de diciembre de 1981	9.154	9.154
3	LA RAZA- CONSULADO	1 de julio de 1982	3.088	12.242
3	LA RAZA - POLITECNICO	30 de agosto de 1982	3.433	15.675



### Línea 6

Tiene una longitud de 13.947 km (en servicio 11.434 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 11 estaciones, 4 de ellas de correspondencia - incluidas las dos terminales-, 7 de paso; del total, 10 estaciones son subterráneas y una superficie. La fecha de inicio y terminación de la línea 6 del metro, se observa en la Tabla 6.



Tabla 6. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
7	EL ROSARIO - INSTITUTO DEL PETROLEO	21 de diciembre de 1983	9.264	9.264
4	INSTITUTO DEL PETROLEO - MARTIN CARRERA	8 de julio de 1986	4.683	13.947



### Línea 7

Tiene una longitud de 18.784 km (en servicio 17.011 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 14 estaciones, 3 de ellas de correspondencia incluida una de sus terminales, 10 de paso y una terminal más; del total, 13 estaciones son subterráneas y una superficie. La fecha de inicio y terminación de la línea 7 del Metro, se observa en la Tabla 7.



Tabla 7. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
4	TACUBA - AUDITORIO	20 de diciembre de 1984	5.424	5.424
2	AUDITORIO - TACUBAYA	22 de agosto de 1985	2.730	8.154
4	TACUBAYA - BARRANCA DEL MUERTO	19 de diciembre de 1985	5.040	13.194
4	TACUBA - EL ROSARIO	29 de noviembre de 1988	5.590	18.784



### Línea 8

Tiene una longitud de 20.078 km (en servicio 17.679 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 19 estaciones, 5 de ellas de correspondencia - incluida una de sus terminales-, 13 de paso y una terminal más; del total, 14 estaciones son subterráneas y 5 superficie. La fecha de inicio y terminación de la línea 8 del Metro, se observa en la Tabla 8.



Tabla 8. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
19	GARIBALDI - CONSTITUCIÓN DE 1917	20 de julio de 1994	20.078	20.078





### Línea 9

Tiene una longitud de 15.375 km (en servicio 13.033 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 12 estaciones, 5 de ellas de correspondencia - incluidas las dos terminales-, 7 de paso; del total, 8 estaciones son subterráneas y 4 elevadas. La fecha de inicio y terminación de la línea 9 del Metro, se observa en la Tabla 9.



Tabla 9. Inauguraciones en la línea por orden cronológico

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
9	PANTITLAN - CENTRO MEDICO	26 de agosto de 1987	11.669	11.669
3	CENTRO MEDICO - TACUBAYA	29 de agosto de 1988	3.706	15.375



### Línea A

Tiene una longitud de 17.192 km (en servicio 14.893 km y el resto se usa para maniobras). Se integra por 10 estaciones, 8 de ellas de paso y dos terminales, una con correspondencia; del total, 1 estación es subterránea y 9 superficies. La fecha de inicio y terminación de la línea A del Metro, se observa en la Tabla 10.



Tabla 10. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
10	PANTITLAN - LA PAZ	12 de agosto de 1991	17.192	17.192



### Línea B

Tiene una longitud de 23 Km 722 m (en servicio 20 Km 278 m y el resto se usa para maniobras). Se integra por 21 estaciones, 5 de ellas de correspondencia, 14 de paso y dos terminales; del total, 6 estaciones son subterráneas y 11 superficies y 4 elevadas. La fecha de inicio y terminación de la línea B del metro, se observa en la tabla 11.



Tabla 11. Inauguraciones en la línea por orden cronológico.

Estaciones inauguradas	Tramo	Fecha	Km. inaugurados	Km. acumulados en la línea
13	VILLA DE ARAGON - BUENAVISTA	15 de diciembre de 1999	12.139	12.139
8	CIUDAD AZTECA - NEZAHUALCOYOTL	30 de noviembre de 2000	11.583	23.722



## 2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE LA LÍNEA 12

### 2.1 Parámetros operativos de diseño de la línea

Para la elaboración del proyecto de la construcción de una nueva línea metodológicamente se consideran diversos parámetros; un parámetro de solución del transporte se da en función de confianza que en sistema de transporte proporcione en función de la certeza de su funcionamiento, la segunda es que dicho sistema de transporte colectivo esté disponible en un término de tiempo regular y continuo, tercero su precio deberá de establecerse bajo la comparación del costo del mismo con lo de otros bienes y servicios sustitutos y/o complementarios y del nivel de ingresos de la población, definiendo las condiciones para ofrecer mejores opciones, ser confortable, conveniente y socialmente aceptable a la demanda derivada de los usuarios del servicio y las condiciones de la zona urbana donde se ubica la infraestructura construida; otros factores por citar son la velocidad, la seguridad y la calidad de servicio del medio de transporte; que son determinantes de la demanda, ahorro de tiempo, la coordinación e integración de los transportes del área en estudio y de la zona urbana en general, distribución intermodal económicamente rentable, social y territorialmente razonable.

Desde el punto de vista operativo, el propósito básico de los análisis es el conformar “una red equilibrada” donde la oferta del servicio corresponda con la hora de máxima demanda estimada, evitando situaciones de saturación y sobre fatiga del material rodante y la subutilización de la capacidad instalada, y el asegurar su utilización para asegurar su factibilidad económica por asegurar el número de viajes/persona requerido para determinar la factibilidad técnica de la implantación de una línea se estudia la propuesta de trazo propuesto en relación a las características físicas y las del entorno urbano correspondiente.

Un modelo matemático determina el recorrido que harían los usuarios de transporte entre dos sectores debido a su mayor ventaja con respecto a otras rutas posibles, a estas se asigna los volúmenes que ocurren entre parejas de sectores, este modelo a su vez define el tiempo empleado para transportarse y la capacitación total de la línea.



El trazo de una línea del metro corresponde a un anteproyecto geométrico. Que toma en cuenta las condiciones reales del medio físico, lo que permite conocer las afectaciones, restricciones, curvas verticales y horizontales y conexiones con otras líneas.

La posición de las estaciones se fija en función de los requerimientos operativos de los convoyes, de las interferencias, de las intersecciones de las otras líneas considerando las condiciones de tipo urbano y del transporte por superficie.

Los sistemas arquitectónicos se articulan como parte del proceso del diseño mediante el cual se va materializando el sistema de proyecto y organizando el sistema constructivo y utilitario, para analizar cada sistema metodológicamente se requiere subdividir los sistemas en sus elementos componentes, los cuales tendrán determinadas significaciones que incidirán en la significación total del sistema cualitativamente y cuantitativamente.

La suma de elevaciones, indicaciones, prescripciones que preceden a la planeación de la obra e identifican previamente las varias fases operativas constituyen el programa de obra, función orientar, limitar y dirigir todo el proceso de planeación.

## **2.2 Línea “Dorada”**

El Proyecto Metro de Distrito Federal (PMDF) a solicitud del Gobierno del Distrito Federal (GDF), planteó la construcción de la Línea 12 para conmemorar el Bicentenario de la Independencia de México, llevando por nombre “Dorada” y así darle solución al problema del transporte de la zona oriente. El trazo de ubica en las delegaciones de Tláhuac, Iztapalapa, Coyoacán y Benito Juárez. Con una longitud de 24,826 metros. Sobre la base de “a precio alzado” y tiempo determinado, misma que ésta integrada por, 20 estaciones, 20 tramos, 4 pasarelas de correspondencia, 2 naves de depósito, 1 taller. La construcción de la línea se realizará en dos etapas: la primera partiendo de Tláhuac a Atlalilco, iniciando el día 3 de julio del 2008 y concluye el día 30 de abril del 2011. Para la segunda etapa se considera de Atlalilco a Mixcoac y termina el día 30 de abril del 2012, en la Figura 6 se observa el mapa del proyecto.

La construcción de la línea 12 del METRO, dentro del Sistema Colectivo de Transporte forma parte del programa de “inversión pública” más grande del país de los últimos 10 años por contar con la cantidad de 17,583 millones de pesos.



Figura 6. Mapa del proyecto de la línea 12 del STC METRO de la Ciudad de México.

Para el inicio de esta obra se había adquirido ya el 75% de los terrenos necesarios y el resto se fueron obteniendo de acuerdo a las negociaciones con ejidatarios y/o comerciantes según sea el caso, sin que esto ocupara algún impedimento para su realización. Los comercios se puede decir que son el 35%, otros 30% de casas-habitación y el resto baldíos. Se puede comentar que existió una plena disposición.

En base a los estudios llevados a cabo por empresas especializadas contratadas por el Gobierno de la Ciudad de México se reducirá el tiempo de traslado de las personas de Tláhuac al Centro Histórico, de 2 horas a 45 minutos, reduciéndose también el costo de transportación de \$13.00 a \$4.00 y además de poder movilizar diariamente la cantidad aproximada de 400 mil usuarios en días laborales.

El proyecto se encuentra dividido por:

- 1) Talleres de Tláhuac;
- 2) Estaciones;
- 3) Señalamientos;
- 4) Proyecto Operativo.



### 2.2.1 Talleres Tláhuac

El área de los talleres de mantenimiento son un área industrial cuya función primordial es la de dar mantenimiento a los trenes. Considerando que esta línea tendrá un material rodante de rodada metálica, se contará con un taller de mantenimiento especializado que dé servicio a todas las Líneas que se ubiquen al sur y oriente de la Ciudad de México en este caso, se localice en la cabecera oriente de la estación Tláhuac, delante de la cola de maniobras de dicha estación.

Los talleres están integrados por:

- **Nave de depósito para 20 trenes.** Una nave de depósito es el área donde se estacionan los trenes cuando están fuera de servicio: andadores para los conductores, con las dimensiones adecuadas para que tengan seguridad, pasos de emergencia para vehículos de bomberos o ambulancias, ligados a las vialidades circundantes y locales de aseo para la limpieza profunda de los trenes que tienen espacios suficientes para dos tarjas cada uno y un local para guardar productos de limpieza y contara además con cajas de arena como tope de vías una en cada vía.
- **Nave de pequeña revisión.** Es la nave donde se le da mantenimiento a los trenes en forma periódica contará con Fosas de Revisión para los trenes, andadores con un ancho de 2.5 metros para que circule el personal y el equipo en forma segura, contará con una vía de lavado, fosa de sopleteado, locales técnico, oficinas administrativas y almacenes de refacciones.
- **Nave de gran revisión.** Es el área donde se presenta mantenimiento general y total a los trenes y se integra por distintos tipos de zonas: zona de cajas, de bogíes, oficinas administrativas y locales técnicos, además de una grúa viajera.
- **Vía de lavado de trenes.** Es la zona donde se hace el lavado exterior de los trenes.
- **Torno rodeo y taller de vías.** Es el taller en el que se revisa y rectifican las ruedas metálicas del tren y en el de vías se revisa y da mantenimiento a las vías, contiene un área de maniobras para el desempeño de los trabajos con toda seguridad, un área para almacenamiento de ruedas y para guardar herramientas y refacciones, así mismo se cuenta con área suficiente para alojar el equipo y maquinaria para el mantenimiento de vías.



- **Puesto de maniobras.** Es la zona donde se controla el acceso de los trenes y la Zona de Peines y a los Talleres, debe tener una cobertura visual total, cuenta con un local técnico, un tablero de control óptico, una cabina de control, baños y área para vestidores.
- **Taller eléctrico y plataforma de pruebas.** Es el área donde se revisan, prueban y reparan todos los equipos eléctricos de la línea y del Taller. Está dividida en 3 áreas de revisión una subestación de rectificación de la capacidad adecuada a los trabajos que va a desarrollar un laboratorio de pruebas y un área de almacén de herramientas y refacciones.
- **Almacén general.** El almacén general tiene como función guardar el equipo de Trabajo y las refacciones necesarias para todo el taller de mantenimiento.
- **Almacén de productos inflamables.** Es el lugar donde se guardar, aceite, combustibles y material peligroso susceptible de incendiarse.
- **Caseta de acceso y vigilancia.** Se contará con el acceso de vigilancia para el acceso principal y en número de casetas necesarias para los elementos que integran el conjunto. El área de observación se encontrará sobre elevada con respecto al nivel predominante de los talleres contará con una visual de 360°, deberá considerarse la instalación de monitores para el sistema de video vigilancia y contará con servicios de baño, vestidores y lockers.
- **Estacionamientos y vialidades internas.** El conjunto está integrado por una vialidad que resuelve los accesos a todos los edificios integrantes de los talleres. El pavimento cuyo diseño, contempla para recibir vehículos de gran peso, los estacionamientos con la capacidad para cada zona.
- **Zonas con jardín.** Alojará zonas verdes con especies vegetales adecuadas al carácter del taller con objeto de coadyuvar la ecología y medio ambiente, de preferencia se tendrán mantos y arbustos de resistencia al calor, asoleamiento y que requieran poca agua y cuidados.
- **Planta de tratamiento de aguas negras.** Es el sitio donde se lleva el proceso de tratamiento de aguas que a su vez incorpora procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua efluente del uso humano. En las Figuras 7 y 8 se observan imágenes de los talleres.





**Figura 7. Talleres del METRO.**



**Figura 8. Talleres del METRO.**



## 2.2.2 Estaciones

Las estaciones son el lugar en donde los usuarios están en pleno contacto con toda la infraestructura que se desarrolla para dar un servicio de primera calidad en sistemas de transporte masivo para dar un servicio eficiente, económico, seguro y rápido. Que beneficiará en forma directa a los habitantes de cuatro delegaciones, que son Tláhuac, Iztapalapa, Coyoacán y Benito Juárez y en forma indirecta un mayor cobertura a través de las estaciones de correspondencia que pasan por otras delegaciones. Pronosticándose una captación de 450,000 viajes/persona/día. Y para ello se cuenta con 20 estaciones distribuidas en una longitud de 24,826 metros.

### 2.2.2.1 Distribución de las estaciones

- Estación terminal de correspondencia (Mixcoac).
- Estación terminal: 1 (Tláhuac).
- Estaciones de correspondencia: 4 (Mixcoac: L:7El Rosario- Barranca del Muerto, Zapata:L:3Indios Verdes – Universidad, Ermita:L:2Taxqueña – 4 Caminos, Atlalilco:L: 8Garibaldi – Constitución de 1917).
- Estaciones de paso: 15(Insurgentes Sur, 20 de Noviembre, Parque de los Venado, Eje Central, Mexicalcingo, San Andrés Tomatlán, Pueblo Culhuacán, Santa María Tomatlán, Calle 11, Periférico Oriente, San Lorenzo, Olivos, Nopalera, Zapotitlán y Tlaltenco).

#### 2.2.2.1.1 Estaciones de paso.

Las estaciones de paso son las que se encuentran en puntos intermedios de la línea sin conectar con otras líneas. El principal criterio para el dimensionamiento de los espacios públicos es el derivado de evacuar simultáneamente 1 tren al 100% de su capacidad en una vía y un tren al 50% de su capacidad en la otra vía. La vía al 100% puede ser cualquiera de las dos.

Las estaciones de paso se conforman por los siguientes elementos:

- **Acceso para el público en general.** Mínimo 4 puntos por estación, 2 a cada vestíbulo. Incluir escaleras eléctricas siempre y cuando se deseen salvar desniveles de más de 6.50 metros. Además contar con el acceso para



discapacitados. Es en estos puntos donde se cierra la estación al dejar de dar servicio.

- **Vestíbulo Exterior.** Uno por cada andén. Sus dimensiones dependerán de la captación que indique el polígono de cargas para la hora de máxima demanda considerando reten durante 10 minutos a los usuarios con una densidad de seis usuarios por metro cuadrado.
- **Línea de torniquetes.** El número de torniquetes de entrada y de salida esta definido por el minuto crítico correspondiente a cada movimiento considerando para la entrada 25 personas/torniquete/minuto y para la salida 35 personas/torniquete/minuto. En cada línea de torniquetes abra una puerta de cortesía. Cada línea tendrá un ancho mínimo de siete metros. Para fines de evacuación los torniquetes de entrada son reversibles y operan con la eficacia de los de salida.
- **Vestíbulo Interior.** Contendrán dos vestíbulos interiores uno por cada andén con espacio suficiente para desalojar un tren a 6/4 considerando seis personas por metro cuadrado para efectos de un desalojo de la estación en tres minutos.
- **Circulaciones verticales.** Mínimo cuatro escaleras (eléctricas si la longitud vertical excede cuatro metros por estación), las escaleras están dimensionadas con ancho necesario para desalojar la estación en tres minutos considerando los dos trenes a 6/4. Los pisos serán antiderrapantes y contar con pasamanos.
- **Dos andenes.** Uno para cada vía de la longitud que mande el material rodante y de cuatro metros de ancho como mínimo.

En las Figuras 9 y 10 se muestran estaciones de paso.

En cuanto a servicios se tiene:

- **Taquillas.** Habrá una en cada vestíbulo exterior. Cada taquilla tendrá espacio suficiente para dos taquilleras. Diseñadas a prueba de asaltos, contarán con una ventanilla para cada una de ellas de 60 cm de ancho, con cristal antibalas, charola pasa monedas de acero inoxidable, dispositivos de alarma conectado al jefe de estación.



Figura 9. Estación de paso de la Línea 8.

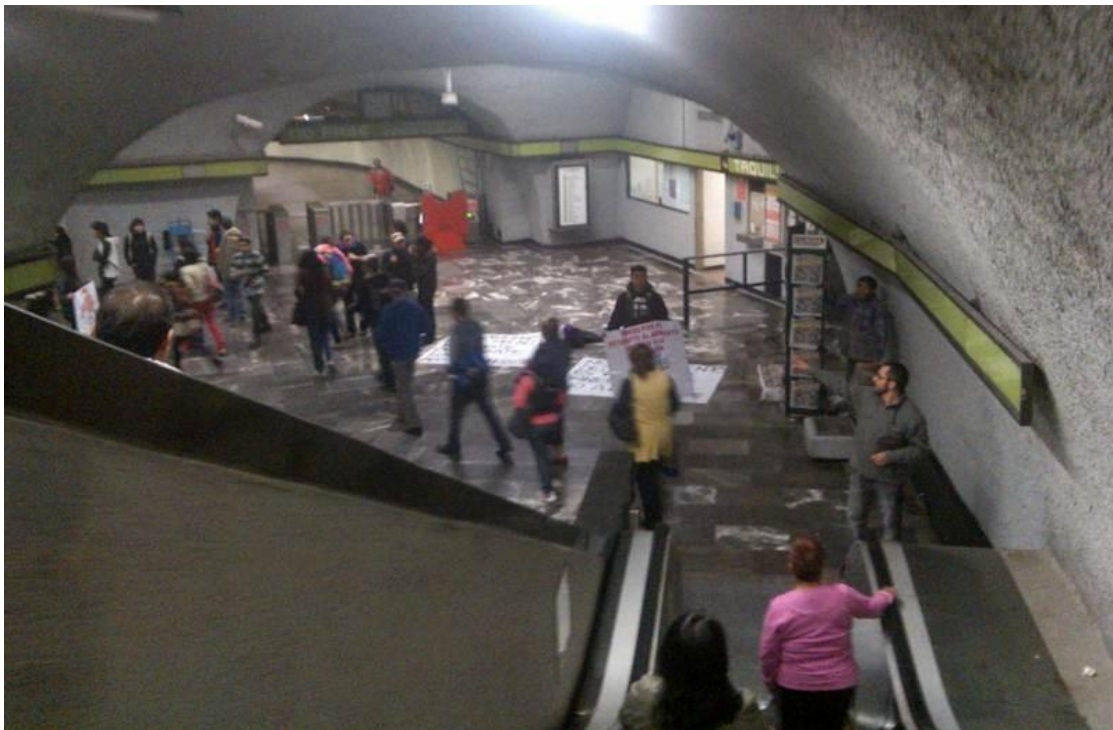


Figura 10. Estación de paso de la Línea 3.



- **Sanitarios de empleados.** Uno para hombres y otro para mujeres con acceso directo desde un vestíbulo agrupado con sus locales complementarios.
- **Locales de acero.** Se tendrán tres locales como mínimo por estación dos en los andenes preferentemente en las cabeceras y uno en núcleo de servicios sanitario. Estando equipados con una tarja y lockers para el personal de mantenimiento.
- **Local de jefe de estación.** Estratégicamente ubicado en el vestíbulo principal con vista a la línea de torniquetes. Aloja el equipo de mando y control de los equipos básicos de operación de la estación.
- **Local de primeros auxilios.** Contiguo al local de jefe de estación.
- **Local para centro de monitoreo para video vigilancia.** Contará con tres monitores.
- **Sanitarios para el público.** Son para brindar el servicio de forma gratuita a los usuarios del sistema en cada una de las estaciones, en el vestíbulo interior de lado del acceso principal, contendrán tanto sanitarios para mujeres como para hombres.

En las Figuras 11, 12 y 13 se muestran algunos de los servicio.



Figura 11. Servicio de torniquetes.



**Figura 12. Servicio de sanitarios.**



**Figura 13. Oficinas y servicios.**



Estas especificaciones de proyecto aplican para todas las estaciones de paso de la línea 12 del metro, que son: Insurgentes Sur, 20 de Noviembre, Parque de los Venados, Eje Central, Mexicalzingo, San Andrés Tomatlán, Pueblo Culhuacán, Santa María Tomatlán, Calle 11, Periférico Oriente, San Lorenzo, Olivos, Nopalera, Zapotitlán y Tlaltenco.

#### 2.2.2.1.2 Estaciones de correspondencia.

Las estaciones de correspondencia son las que se encuentran en el cruce de dos o más líneas del metro y permiten a los usuarios cambiar de línea en dos o más direcciones sin pago de cuota adicional.

Las correspondencias se encuentran con las siguientes líneas:

- Correspondencia línea 7 – línea 12 Estación Mixcoac.
- Correspondencia línea 3 – línea 12 Estación Zapata.
- Correspondencia línea 2 – línea 12 Estación Ermita.
- Correspondencia línea 8 – línea 12 Estación Atlalilco.

Las necesidades descritas para las estaciones de paso se aplican para las de correspondencia y además se contará con una pasarela de correspondencia que interconecta a ambas estaciones. Los flujos deberán confinarse por sentido y el ancho será mínimo de 6 metros. Contará con 3 andenes y 2 vías de 6.00 m de ancho cada andén. En el caso de la estación Insurgentes se elaborará un esquema de correspondencia con una estación de la línea que a futuro correrá por la avenida Insurgentes y se dejarán las preparaciones para poder construir dicha correspondencia sin entorpecer la operación de la línea 12.

En las Figuras 14 y 15 se muestran estaciones de correspondencia.



**Figura 14. Estación Guerrero de la Línea B y correspondencia a Línea 3 del Metro de la Ciudad de México.**



**Figura 15. Estación de correspondencia Morelos, Líneas B y 4 del Metro de la Ciudad de México.**





### 2.2.2.1.3 Estaciones terminales.

Las Estaciones Terminales son las ubicadas en dos extremos de la línea. Su programa de necesidades incluye los elementos de las estaciones de paso considerando las siguientes precisiones y elementos adicionales.

- Los andenes son dos para dar servicio a tres vías. El ancho mínimo de cada andén será de 6 a 8 metros.
- Área de retención destinada a dosificar el pasaje en horas críticas. La línea confinada tendrá 60 cm de ancho efectivo y estará rodeada por pasillos para el personal que regula y vigila esta maniobra.
- Preparaciones para la conexión a los centros de transferencia modal. Lo relacionado con los paraderos de autobuses, microbuses y combis.
- Taquillas. Contará con 4 a 6 taquillas, con las mismas especificaciones que se indican en las estaciones de paso.
- Instalaciones para el funcionamiento de las estaciones, para el adecuado funcionamiento de las Estaciones involucradas en la Línea 12, es necesario equiparlas con los siguientes aditamentos.
- Locales para subestaciones. Uno para cada vía, son para alojar las subestaciones de alumbrado y fuerza. Deben estar aproximadamente al centro de la estación y cercanos al andén.
- Local técnico para los equipos de automatización de los trenes. La posición deseable es entrada con los andenes, del lado de la vía 2 (dirección Mixcoac - Tláhuac).
- Cisternas. Una abastece el consumo de agua de la estación. Dimensionada para una autosuficiencia de tres días. Otra se destinará a la protección contra incendio.
- Cárcamos de bombeo. Su función es recolectar y bombear al drenaje municipal las aguas de desecho (negras, jabonosas, pluviales y de filtraciones) tanto de la estación como de los tramos contiguos cuando estos están en un nivel superior al de la estación, el agua de filtraciones captada en los tramos deberá interceptarse en un cárcamo de cabecera antes de entrar a la estación.
- Galerías de ventilación. En todas las estaciones de la línea la ventilación de los espacios públicos serán por medios naturales, no mecánicos, su ubicación es adyacente al andén para lograr una ventilación cruzada y su ubicación en el



exterior es en banquetas y/o zonas de jardín y sobre elevadas en 30 o 40 cm del piso con objeto de evitar la introducción del agua a la estación en casos de lluvias extremas. En las Figuras 16 y 17 se muestran estaciones terminales.



Figura 16. Estación terminal.



Figura 17. Estación terminal.



### **2.2.2.2 Cruces importantes.**

La Línea 12 cuenta con diversos cruces importantes:

- Estación Insurgentes Sur con línea 12.
- Estación Eje Central línea 12 con Av. Eje Central.
- Estación Atlalilco línea 12 con Av. Ermita Iztapalapa.
- Estación Periférico Oriente con vialidad de Periférico Oriente.

En las figuras 18 y 19 se muestran cruces importantes del METRO.



**Figura 18. Cruce del METRO**



Figura 19. Cruce del METRO.

### 2.2.2.3 Rubro de las Instalaciones Municipales.

Para las construcciones de las estaciones y tramos es necesario considerar el rubro de las instalaciones municipales tales como:

- Líneas de agua potable primarias.
- Líneas de agua potable secundarias.
- Acueducto de 72" de diámetro de (Tláhuac a San Andrés Tomatlán).
- Colectores.
- Canales.

En las Figuras 20 y 21 se muestran rubros de instalaciones municipales.



**Figura 20. Línea de agua potable primaria.**



**Figura 21. Línea de agua potable secundaria.**



### 2.2.3 Señalamiento

El objetivo en las estaciones es llevar al pasajero al metro o hacia su destino con rapidez, seguridad y evitando cruces de circulaciones. El señalamiento deberá integrar un continuo de información que garantice la orientación del usuario en cualquier punto del recorrido.

Las señales serán claras y precisas. Se utilizará la tipología de las letras del metro y del diseño de los símbolos de cada estación para lograr una imagen integrada a las líneas existentes.

En las Figuras 22,23 y 24 se muestran algunos tipos de señalamientos.

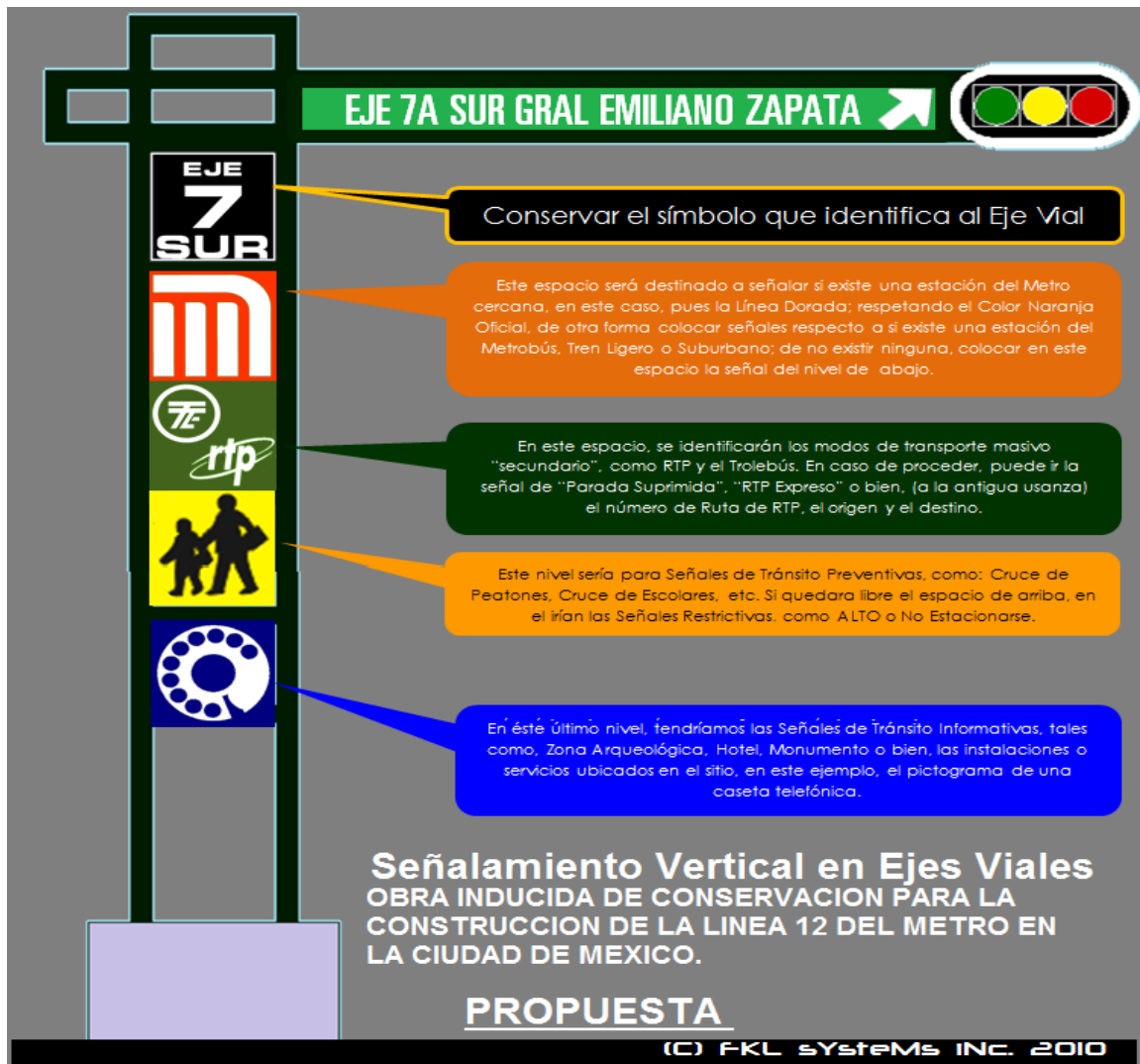


Figura 22. Señalamientos.



Figura 23. Señalamientos.

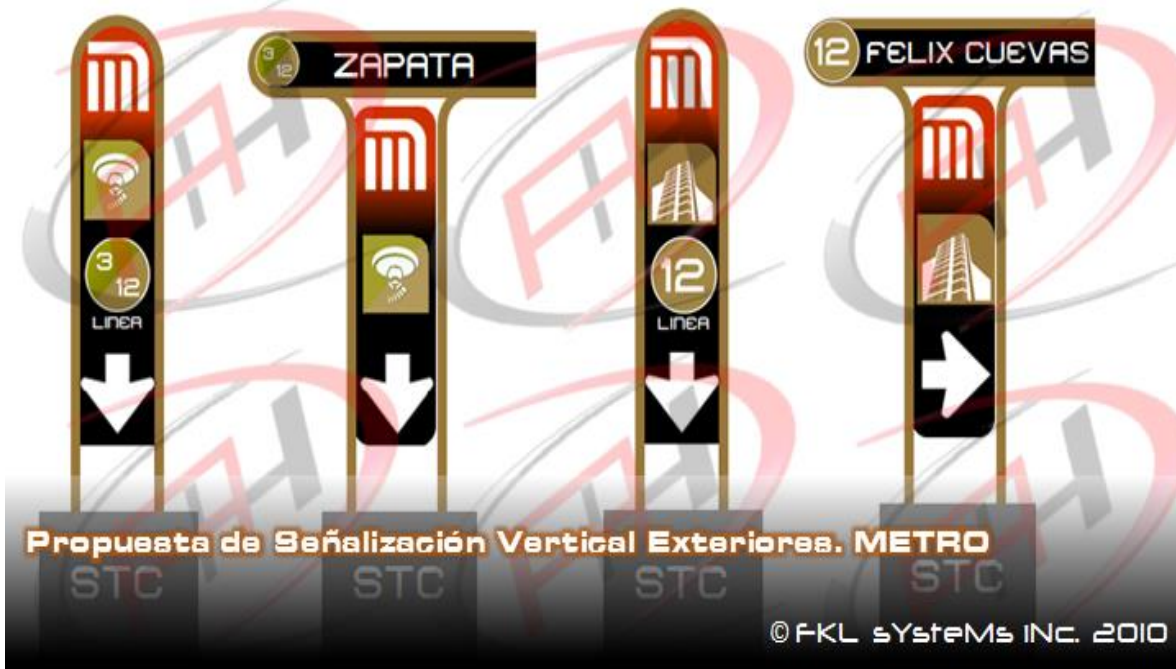


Figura 24. Señalamientos.



## 2.2.4 Proyecto operativo

La realización del Proyecto operativo determinará las principales características de operación de la Línea, por medio de las cuales se logra cumplir con los objetivos de servicio que son seguridad, regularidad, confort y rapidez.

El proyecto operativo es el estudio base de la Línea que servirá de referencia para todos los estudios posteriores que se realizan para los sistemas electromecánicos así como para el proyecto ejecutivo civil.

Tabla 12. Características operativas de la línea, de acuerdo al Análisis Operativo de Diseño.

Análisis Operativo de Diseño.	
Velocidad máxima de diseño.	85 Km/h
Velocidad Comercial.	35 Km/h
Capacidad de Transporte.	67,200 V/H/S
No. de Trenes en operación.	28 trenes
No. de Fosas de Revisión.	5 fosas

Tabla 13. Características operativas de la línea, de acuerdo al Análisis Operativo de la Línea 12 etapa 1

Análisis Operativo de la línea 12 etapa 1: 30/04/2011.	
Intervalo.	233 seg
Velocidad Comercial.	35 Km/h
Capacidad de Transporte.	25,957 V/H/S
No. de Trenes en operación.	23 trenes.
Trenes de reserva.	2 trenes.
No. de trenes en mantenimiento.	3 trenes.
No. Total de Trenes.	28 Trenes.
No. de Fosas de Revisión.	3 fosas.
No. de Fosas de Visita.	2 fosas.





Tabla 14. Características operativas de la línea, de acuerdo al Análisis Operativo de la Línea 12 etapa 1

<b>Análisis Operativo de la línea 12 etapa 2: 30/04/2012.</b>	
<b>Intervalo.</b>	142 seg
<b>Velocidad Comercial.</b>	35 Km/h
<b>Capacidad de Transporte.</b>	45,582 V/H/S
<b>No. de Trenes en operación.</b>	28 trenes
<b>No. de Fosas de Revisión.</b>	5 fosas.
<b>No. de Fosas de Visita.</b>	3 fosas.

Tabla 15. Tiempos de paradas y recorridos de la Línea 12.

<b>Tiempo de Parada en Estaciones</b>	<b>Tiempo [s]</b>
Estación de Paso	20
Estación de Correspondencia	25
Terminal Anden de Llegada	25
Terminal Anden de Salida	30
<b>Tiempo de Recorrido</b>	
Tiempo Vía 1	2500
Tiempo Vía 2	2500
Total	5000
<b>Tiempo de Maniobra</b>	
Terminal Tláhuac	180
Terminal Mixcoac	180
Total	360
<b>Duración de la Vuelta</b>	5360

La finalidad que se persigue con la ejecución de este proyecto, es el proporcionar un servicio de transporte colectivo de pasajeros de alta eficiencia, capacidad y satisfactorio, además de atender la demanda oriente-poniente para alcanzar y lograr un balance superior entre las líneas existentes del metro, principalmente al realizar la conectividad del Metro en el sur, potenciando el desempeño de la red y continuar conformando el Metro como elemento estructurador del sistema de transporte del Distrito Federal, en congruencia con el Programa de Desarrollo del Distrito Federal 2007-2012 y tomando en cuenta los lineamientos del programa integral del Transporte y Vialidad.

Víctor Manuel Romero Romero



### 3 DESCRIPCIÓN DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ESCUDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS

#### Escudo de Presión Balanceada (EPB)

En aquellos estudios geotécnicos donde se detecten terrenos cohesivos, es recomendable el empleo de un escudo EPB. Sus ventajas: un elevado rendimiento de extracción, la rentabilidad de su funcionamiento y su respeto al medio ambiente.

Los escudos EPB utilizan la tierra excavada como medio de sostenimiento del frente. El acondicionamiento del terreno con espuma amplía considerablemente el campo de aplicaciones del escudo. La fuerza de los cilindros de propulsión, transmitida a través del mamparo estanco, actúa sobre la tierra plastificada en la cámara de extracción, consiguiendo así un equilibrio de fuerzas y evitando derrumbamientos del frente. El material excavado se transfiere a una cinta transportadora a través de un sinfín. El transporte del material al exterior se realiza mediante vehículos sobre rieles o camiones.

Las tuneladoras EPB . Pertenecen al grupo de tuneladoras que denominamos escudos, que se diferencian de los topos por la carcasa metálica exterior que sostiene provisionalmente el frente de avance hasta que se coloca el sostenimiento definitivo. Los escudos EPB han sido utilizados con éxito en la construcción de túnele. Como ventajas se encuentran sus elevados rendimientos, trabajando incluso bajo el nivel freático , su versatilidad y respeto al medioambiente, aunque requieren de una elevada inversión económica.

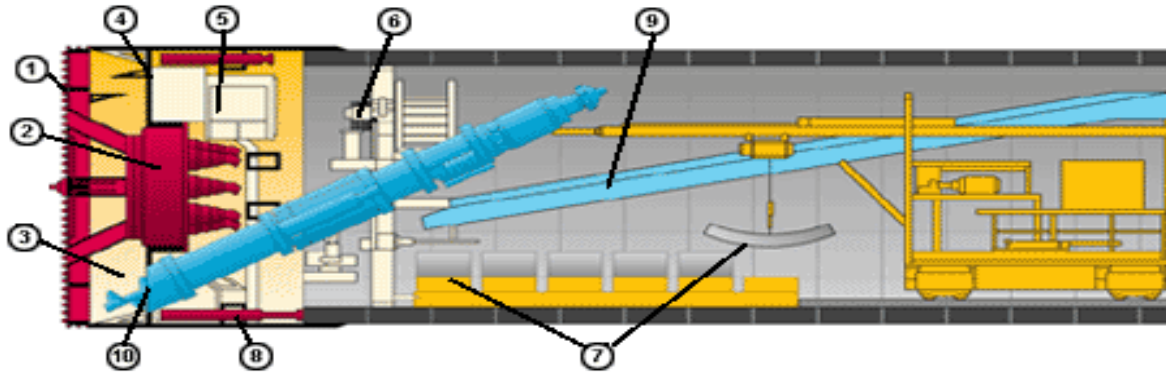


Figura 25. Esquema básico de un escudo EPB.

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. Rueda de Corte.            | 7. Dovelas.                 |
| 2. Accionamiento.             | 8. Cilindros de propulsión. |
| 3. Cámara de excavación.      | 9. Cinta transportadoras    |
| 4. Sensor de presión.         | 10. Sinfín de extracción    |
| 5. Esclusa de aire comprimido |                             |
| 6. Erector de dovelas.        |                             |



Figura 26. Escudo de presión balanceada.

### El Escudo Mixshield.

Es un escudo muy polivalente. La idea básica consiste en perforar en diferentes tipos de geología con una misma máquina, pero con diferentes modos operativos. Funciona como hidroescudo, escudo con control de presión de tierra EPB, aire comprimido o escudo abierto. Hoy por hoy, es el tipo de escudo más utilizado en la construcción de túneles en ciudades para líneas de metro, ferrocarril, carreteras, etc.

El sostenimiento del frente mediante fluidos es el método de operación más frecuente. Como medio de soporte y de transporte se utiliza una suspensión de bentonita. La mezcla agua/tierra/bentonita se trata en una planta separadora y La suspensión recuperada, se vuelve a introducir en el circuito.

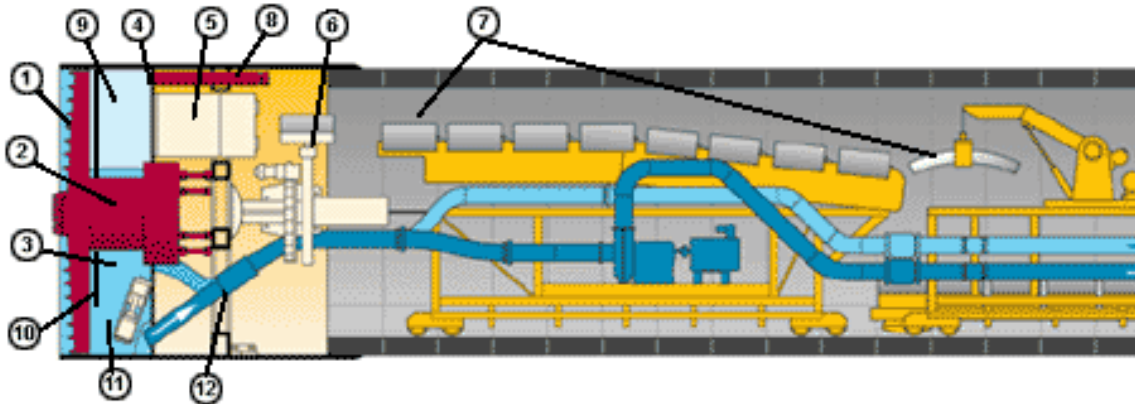


Figura 27. Esquema básico de un Mixshield.

- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. Rueda de Corte.             | 7. Dovelas.                    |
| 2. Accionamiento.              | 8. Cilindros de propulsión.    |
| 3. Suspensión de bentonita.    | 9. Burbuja de aire comprimido. |
| 4. Sensor de presión.          | 10. Mamparo sumergible.        |
| 5. Esclusa de aire comprimido. | 11. Machacadora.               |
| 6. Erector de dovelas.         | 12. Tubería de extracción      |

### Escudo para roca dura.

También denominados topos escudados ya que son utilizados en las mismas condiciones geológicas que los topos. Estos escudos se diferencian muy poco en la rueda de corte y en el sistema de extracción del escombro de los topos estándar. Sin embargo, son totalmente diferentes en el sistema de propulsión y en el escudo de protección.

La seguridad es la ventaja fundamental que ofrece el topo escudado con relación al topo estándar y es que la excavación y el sostenimiento del túnel tienen lugar dentro del escudo protector, eliminándose el riesgo continuo que se corre en las instalaciones libres de sostenimiento.

Otra ventaja importante que ofrece el escudo para rocas duras en contraste con el topo es, que el escudo permite colocar el revestimiento definitivo del túnel. De este modo con la colocación de las dovelas prefabricadas de hormigón armado el túnel queda totalmente finalizado con el paso de la tuneladora.

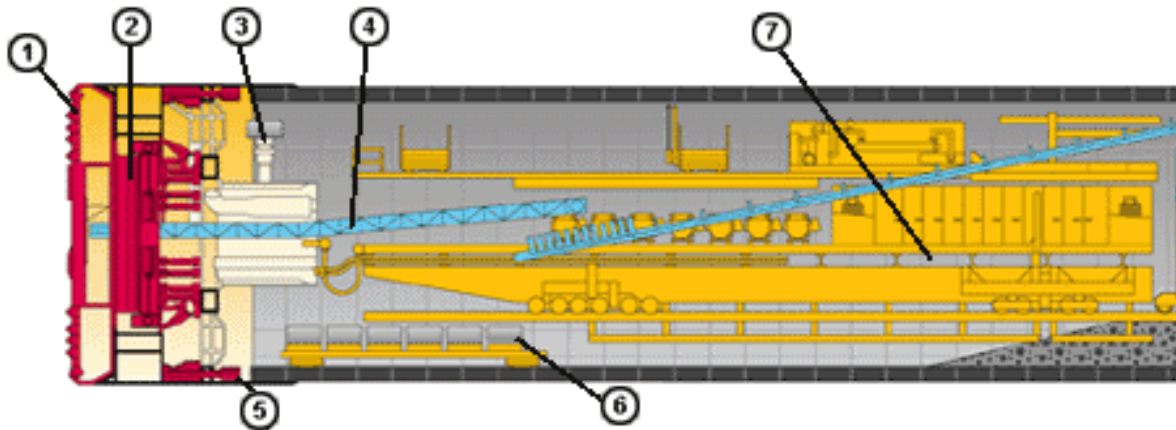


Figura 28. Esquema básico de un Escudo para roca dura.

- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| 1. Rueda de Corte.      | 5. Cilindros de empuje.    |
| 2. Accionamiento.       | 6. Dovelas.                |
| 3. Erector de dovelas.  | 7. Cuadros de distribución |
| 4. Cinta transportadora |                            |



### **El doble escudo.**

Los dobles escudos son tuneladoras con características mixtas entre el topo y el escudo. La característica principal es que está dotado de dos sistemas de propulsión independientes donde el primero de éstos corresponde al sistema de propulsión del escudo y el segundo con el del topo.

El doble escudo es un escudo telescópico articulado en dos piezas que proporciona un sostenimiento continuo del terreno durante el avance del túnel.

Las distintas posibilidades de trabajo que ofrecen los dobles escudos permiten conseguir unos rendimientos próximos a los de los topos, que los escudos para roca dura no podrían conseguir. Al igual que los escudos para roca dura los dobles escudos permiten realizar túneles a través de terrenos con geología cambiante e inestable que los topos no podrían realizar.



**Figura 29. Doble escudo**

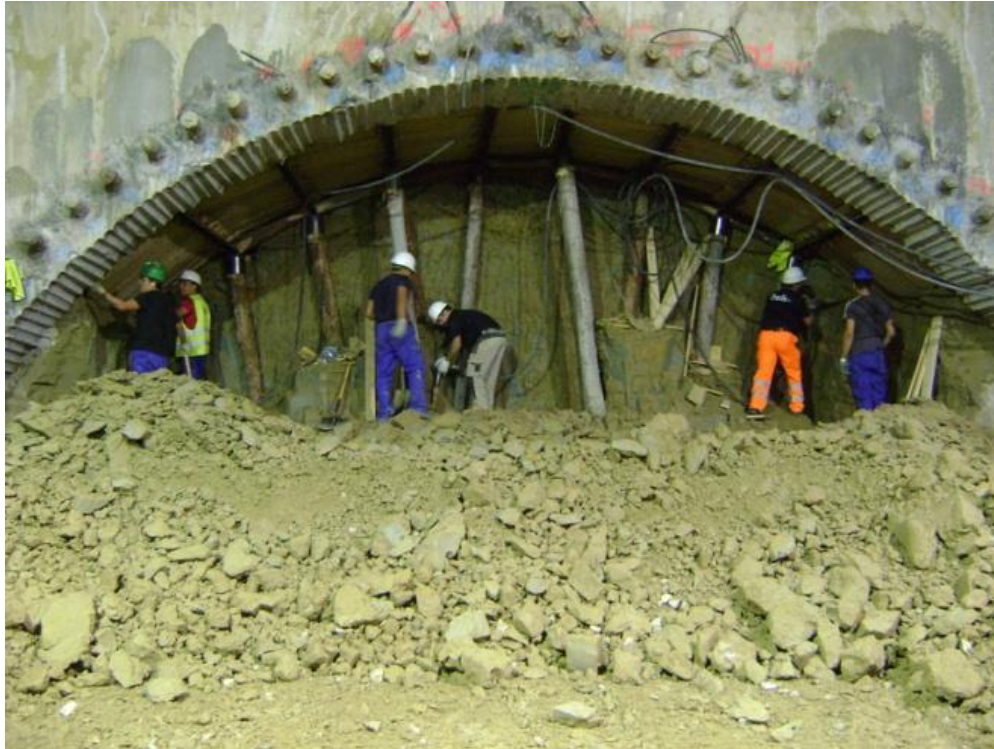
El escudo delantero: Sirve como estructura soporte de la cabeza de corte, contiene el rodamiento principal, la corona de accionamiento y los sellos interno y externo.

El escudo trasero: o escudo de anclaje, incorpora las zapatas de los grippers operables a través de ventanas. En su parte posterior incorpora el erector de dovelas y los cilindros de empuje para la propulsión en modo escudo normal.

**Víctor Manuel Romero Romero**

### 3.1 Métodos para la construcción de túneles

#### Método belga de construcción de túneles



**Figura 30. Construcción de túnel belga.**

Método belga (también llamado Método clásico de Madrid) es un método para la construcción de túneles. Se basa en los principios que permitieron la construcción, en 1828. Se caracteriza por la progresiva excavación de los elementos que componen el túnel, de tal forma que se van retirando los elementos más estables del túnel evitando el hundimiento o la falta de estabilidad del frente. El método se denomina método clásico de Madrid por ser el método más empleado en la construcción de los túneles del metro de Madrid. Se suele aplicar a túneles con un ancho máximo de unos 8 m libres más 3 m de ambos hastiales, es decir, de un máximo de 11 m.

Este método consiste en realizar la excavación abriendo una pequeña galería en clave del túnel para ir ensanchándola poco a poco, protegiendo y entibando el frente, hasta permitir hormigonar toda la bóveda. El primer elemento excavado es la bóveda del túnel. La bóveda se sostiene en el terreno mediante un entramado progresivo de madera. La bóveda se asegura con un encofrado y cuando está asegurada, la parte inferior se va

excavando a medida que se va asegurando el avance. De esta forma la galería se va construyendo a medida que se avanza sin poner en riesgo a los trabajadores debido al hundimiento del túnel. Al abrir pequeñas secciones es posible solucionar cualquier problema que pudiera surgir de inestabilidad, puesto que la seguridad del método se basa en que se trabaja con un frente muy pequeño, normalmente inferior a 3 m. Este método tiene la ventaja de estar muy comprobado en la práctica de la ingeniería civil, aunque su rendimiento es pequeño.

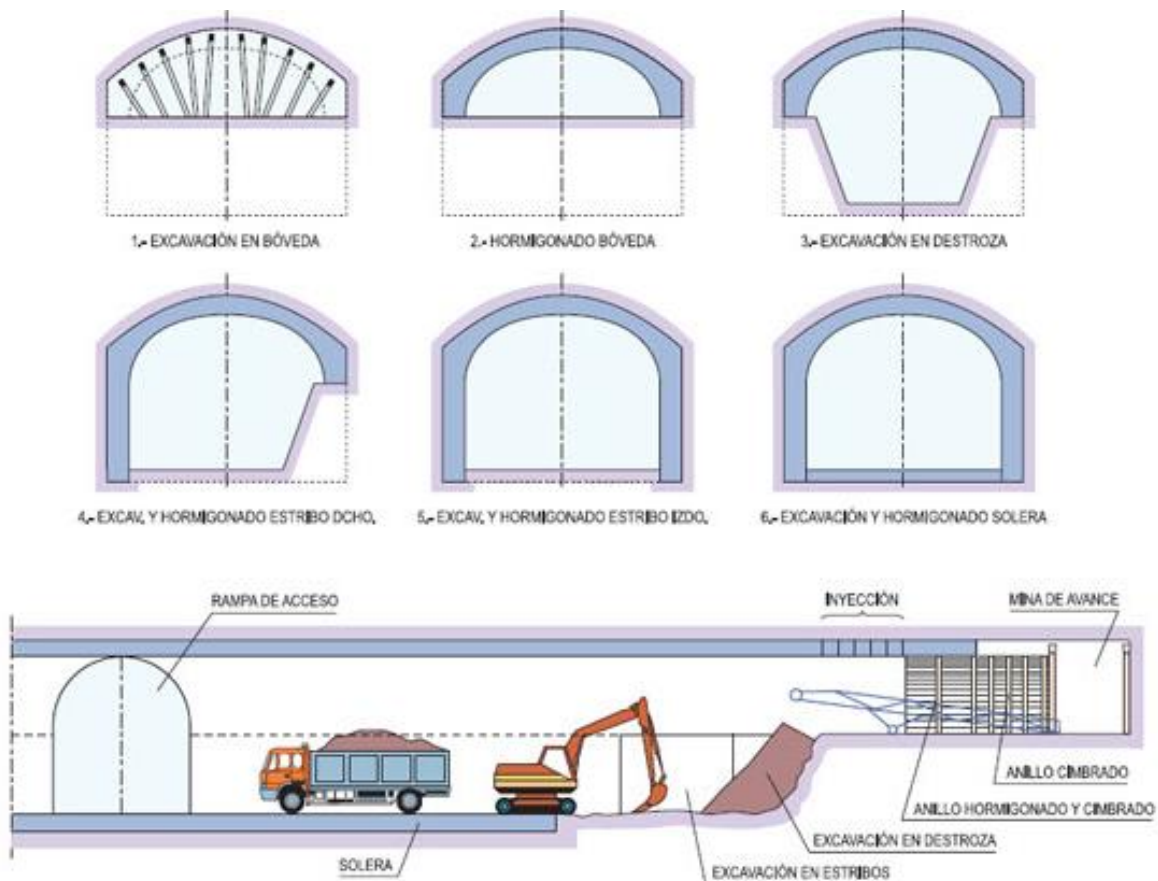


Figura 31. Esquema de ejecución de un túnel por el método belga.



### Construcción de falso túnel entre pantallas.



**Figura 32. Construcción de falso túnel.**

Un falso túnel es una infraestructura que se construye cuando un obstáculo natural de escasa altura debe ser atravesado por una línea ferroviaria o por una carretera, de forma que no resulta conveniente perforar un túnel debido al escaso recubrimiento y al riesgo de que la construcción de una trinchera convencional pueda provocar desprendimientos. En otras ocasiones, la construcción de falsos túneles se justifica simplemente en la necesidad minimizar el impacto ambiental de la vía de comunicación, especialmente cuando el trazado pasa cerca de zonas urbanas.

Una forma de construir un falso túnel consiste en ejecutar unas pantallas, bien con pilotes o con una hidrofresa. Tras esas pantallas laterales, se ejecuta la losa de cubrición para formar el techo del túnel. Una vez fraguado el hormigón de la losa, se puede proceder a trabajar bajo tierra, vaciando la caverna generada entre las pantallas y la losa, hasta el nivel del suelo del túnel. La ejecución de pantallas con pilotes consiste en hacer “taladros” consecutivos, que luego son rellenados con acero y hormigón. Si utilizamos una hidrofresa el principio es el mismo, solo que la perforación es rectangular.

Si el falso túnel se realiza a una profundidad mayor de 5-10 m es necesario ejecutar losas intermedias, para garantizar la integridad de las pantallas laterales. Este método es muy seguro, habiéndose realizado bastantes kilómetros de todo tipo de túneles.

**Víctor Manuel Romero Romero**



**Figura 33. Construcción de falso túnel entre pantallas.**

### **Construcción de túneles mediante precorte mecánico.**

El método de precorte con revestimiento previo a la excavación, denominado precorte mecánico, preserraje mecánico de anillos o “premill”, consiste en la realización de un corte al avance, a partir del frente de excavación en el trasdós de la sección del túnel. Este método se emplea en suelos y rocas blandas, preferentemente por encima del nivel freático.

Este procedimiento constructivo se enmarca dentro de los métodos denominados de presostenimiento al avance, especialmente idóneos para la ejecución de túneles en entornos urbanos o semiurbanos, debido a la limitación de deformaciones superficiales (subsidiencias) que producen en las estructuras y servicios situados por encima de la clave.

Con el método de precorte mecánico se produce un confinamiento del frente de excavación, previo a la realización de la misma, con indudables ventajas añadidas de cara a la estabilidad del mismo.



**Figura 34. Construcción de túnel de precorte mecánico.**

### **3.2 Maquinaria para realizar túneles**

#### **Máquina de precorte mecánico**

Este corte se efectúa con una máquina específica a través de una especie de sierra de corte, que consta de dientes de widia. La ranura resultante se rellena, a continuación, con hormigón proyectado de fraguado rápido realizado por vía seca o húmeda, obteniéndose, de esta forma, una bóveda estabilizante.

Una vez ha fraguado el hormigón de la bóveda, esta asegura la estabilidad de la cavidad, constituyendo el sistema de sostenimiento. Posteriormente se efectúa la excavación del material que queda bajo la bóveda. Adicionalmente, pueden realizarse refuerzos con cerchas o bulones. El sistema exige una gran superficie de frente abierto para que pueda pasar el bastidor, y exige colocar a tiempo la riostra de solera necesarias para acodalar las tejas de la sección correspondiente, de forma provisional hasta que se cierren con la solera, que debe ir siempre algo retrasada por motivos constructivos.

En España se ha utilizado en los túneles ferroviarios del Goloso (Madrid), ampliación de la línea VI del Metro de Madrid y túneles de la M-40 en el Monte del Pardo, también en Madrid. Premesa, la licenciataria en España del método Premill, construyó 2 enormes máquinas para su utilización en los túneles de El Pardo. La cuchilla de cada máquina presenta 5 m de longitud y corta una abertura de 30 cm. de anchura. Cada ciclo Premill de



14 m., comienza con el corte de una sección de aproximadamente 2 m. alrededor del perfil de la bóveda, hasta alcanzar una profundidad de 4.5 m.

El método de precorte mecánico posee algunas analogías con el Nuevo Método Austriaco (NMA) para la construcción de túneles. De hecho se pueden utilizar, en algunos casos, los mismos elementos de sujeción inmediata, como el hormigón proyectado, bulones de anclaje y cerchas. No obstante, la diferencia fundamental reside en el hecho de que con el precortem Mecánico el revestimiento preliminar de hormigón se realiza al avance respecto al frente de excavación, en una longitud de 3 a 5 m, mientras que en el NMA el revestimiento previo sigue a la excavación del frente a una cierta distancia.

Esta característica constituye la ventaja fundamental del método de precorte mecánico, pues el comportamiento de la formación por donde discurre el túnel está condicionado, de forma fundamental, por la sucesión de operaciones en el frente de excavación.

### **Ventilación en túneles**



**Figura 35. Ventilación en túneles.**

La ventilación en túneles constituye una operación fundamental cuya función es la de renovar el aire, diluir los gases contaminantes y polvo y controlar los humos en caso de incendio. Esta operación asegura unas condiciones ambientales no peligrosas para la circulación (respiración y visibilidad) y en caso de incendio garantiza las condiciones de evacuación y de intervención de los equipos de emergencia. En base al volumen de los gases nocivos emitidos, se adecua el volumen de aire limpio y fresco necesarios.



Existen diferencias entre la ventilación en fase de construcción y de explotación, pues en la primera se emiten más contaminantes, principalmente en la zona del frente de avance, estando además allí los operarios durante toda la jornada de trabajo. Otra diferencia importante en la ventilación durante la construcción de un túnel es que sólo tiene una entrada, por lo que la ventilación debe conseguirse asegurando la circulación desde la entrada hasta el frente de avance.

### **Excavación de túneles con excavadoras y martillos hidráulicos pesados**



**Figura 36. Martillo hidráulico rompedor.**

Tanto las excavadoras con cuchara frontal o las retroexcavadoras, junto con los martillos hidráulicos, se emplean profusamente en labores de saneo y desescombro en los procedimientos convencionales de excavación de túneles; sin embargo, llegan a constituir un procedimiento constructivo por sí mismo en los siguientes casos:

Excavadoras: Se utilizan en rocas blandas, con resistencia a compresión inferior a 5 MPa, en general.

Martillos hidráulicos pesados: Se montan sobre retroexcavadoras convencionales y llegan a incluir utensilios especiales, como brazos telescópicos, que facilitan el acceso a todas las partes del frente. Siempre se requiere la utilización de palas cargadoras para la retirada del escombro.

### **Cargadoras LHD para obras subterráneas**



**Figura 37. Scooptram ST1030LP**

Las labores de extracción de material en obras subterráneas y túneles no es una tarea sencilla. Al poco espacio de maniobra hay que añadir los problemas derivados de la ventilación de espacios cerrados y problemas de seguridad y salud que afectan a los trabajadores.

Este tipo de cargadoras se desarrollan para las más duras aplicaciones subterráneas, con objetivos orientados a economizar la producción, incrementar la seguridad y fiabilidad. Este equipo de cargador LHD es especialmente adecuado para trabajar debajo de condiciones difíciles, como estrechos, de baja altura y lugares de trabajo con lodo.

### **Carros de encofrado para túnel.**



**Figura 38. Carro de encofrado.**



Los carros de encofrado para túneles constituyen estructuras auxiliares móviles que sirven para realizar el hormigonado de la sección. Combina la estructura de apeo con el encofrado que da forma a la bóveda. Estos sistemas de encofrado, están formados por una subestructura interior, y paneles que cubren y se unen de forma solidaria a dicha subestructura, ambos de naturaleza metálica, conformando un carro de encofrado ajustado a la geometría de sección del túnel, cuyo avance es través de carriles. Suelen disponer de sistemas hidráulicos para el avance, el encofrado, el desencofrado, el centraje transversal y el plegado de los hastiales, aunque también hay sistemas de accionamiento manual.

El encofrado puede estar compuesto por dos paneles hastiales y un panel clave, siendo así en la mayoría de túneles. Si la sección del túnel es próxima a circular se añade un faldón inferior a los hastiales laterales. Los hastiales presentan ventanas de hormigonado e inspección y soportes para vibradores de superficie e instalación neumática para alimentación de los vibradores. A los paneles clave se les dota de bocas de hormigonado.



## 4 LA ESTACIÓN ZAPATA

### 4.1 Descripción del proyecto Línea 12 del Metro

La Línea 12 “Tláhuac-Mixcoac” tiene una longitud de 25.1 km y está conformada por 20 estaciones y 2 naves de depósito uno en Tláhuac y otro en Mixcoac.

#### Talleres Tláhuac

Está localizado en el extremo oriente de la línea 12 en la zona ejidal del pueblo de Tláhuac, en una extensión de aproximadamente 21.50 hectáreas y 38,500 m<sup>2</sup> de construcción integrado por: naves, edificios administrativos, almacenes, estacionamientos, circulaciones vehiculares y peatonales, áreas jardinadas y edificios de servicio, actualmente se tiene un avance de obra civil del 90% y el avance de vías es del 99%.

A lo largo de toda la línea se tienen diferentes procedimientos de construcción como son del tipo superficial, el tramo elevado, el tramo cajón subterráneo y el tramo túnel.

#### Procedimientos Constructivos

##### *Tramo Superficial*

Ubicado en terrenos ejidales, conformado por la Estación Terminal Tláhuac y la Estación Tlaltenco, ambos con un avance de obra civil en el nivel andén del 100% mientras que las pasarelas de acceso se encuentran en proceso de construcción con un avance del 99%.

##### *El Viaducto Elevado*

Está formado por 9 estaciones ubicadas a lo largo de toda la Av. Tláhuac. Cada una tiene 2 accesos a los lados del cuerpo central. En el gráfico se encuentra representado el avance de obra civil en cada uno de los accesos así como el avance que tiene el nivel andén.





### *Tramo Cajón Subterráneo*

Ubicado en 2 diferentes tramos el primero del Cad. 17+849.92 a la Lumbrera ubicada en la Calle de Centeno en el cual la obra civil se encuentra al 100%, el segundo tramo se localiza de la cabecera oriente de la Estación Mixcoac a la Lumbrera No. 3 mismo que tiene un avance del 97%.

### *Tramo Túnel con Escudo EPB*

El túnel con escudo EPB inicia en la Lumbrera de “Centeno” en el Cad. 20+362.36 y cruza por 6 de las 20 estaciones finalizando en la Estación Insurgentes Sur, con una longitud de excavación y construcción de túnel subterráneo de 5.929 m.

### **Escudo EPB**

Máquina de forma cilíndrica utilizada para la excavación de túneles con un diámetro externo de 10.20 m, conserva la estabilidad del terreno vecino permitiendo colocar un soporte de dovelas prefabricadas de concreto armado en el interior del escudo que conforme avanza se estructura el túnel, debiendo aplicar perimetralmente una mezcla de mortero con aditivos para rellenar el espacio que queda entre las dovelas y el terreno natural.

Para la estabilización frontal se emplea el mismo suelo en proceso de excavación, el cual es convenientemente presurizado dentro de la cámara de corte, controlar los asentamientos en superficie y permitir el avance de la máquina.

### *Características*

- Peso Total: 1,100 Ton.
- Longitud total incluyendo escudo: 107 m.
- Cobertura promedio de excavación en obra: 12 m.
- Diametro de excavación: 10.20 m.
- Gatos de empuje: 28 piezas
- Gatos de articulación: 16 piezas.
- Motores de giro del cortador: 12 piezas.
- Erector para colocación de dovelas con sistema de succión: 1 pza.

**Víctor Manuel Romero Romero**

- Backups: 7 unidades para equipo auxiliar.

### *Túnel Convencional*

Los tramos que incluyen este tipo de procedimiento van de la cabecera poniente de la Estación Mixcoac a la Lumbrera No. 2 abarcando lo que será el Depósito Mixcoac y el Andén de Maniobras con 886 m; y de la Lumbrera No. 3 a la cabecera poniente de la Estación Insurgentes Sur con 220 mts. El avance de obra civil que se tiene en estos tramos es del 100%.

#### **4.1.1 Fotos del Escudo de Presión Balanceada utilizado en la estación Zapata**



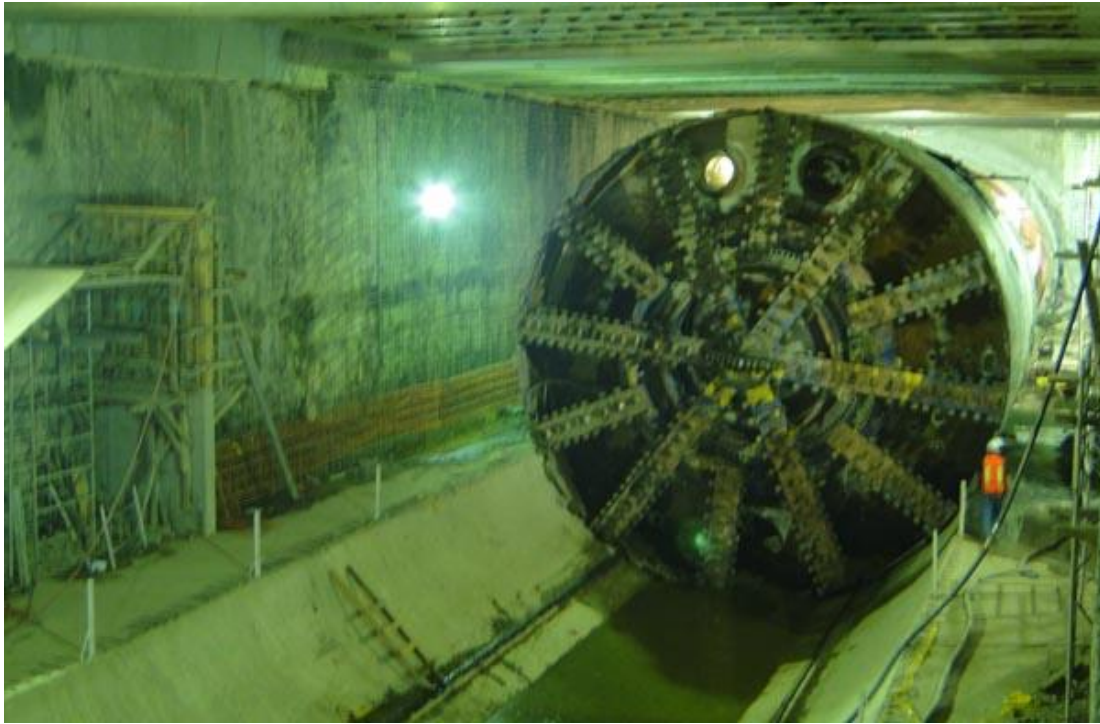
**Figura 39. Escudo de Presión Balanceada ( EPB ).**



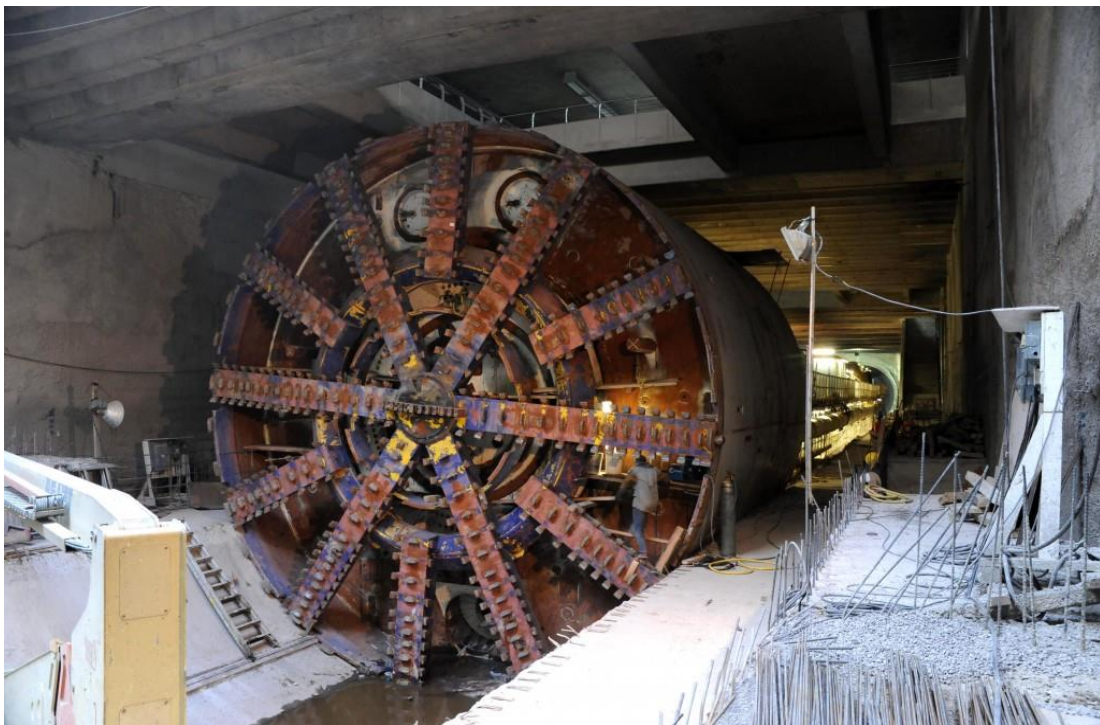
Figura 40. Escudo de Presión Balanceada ( EPB )



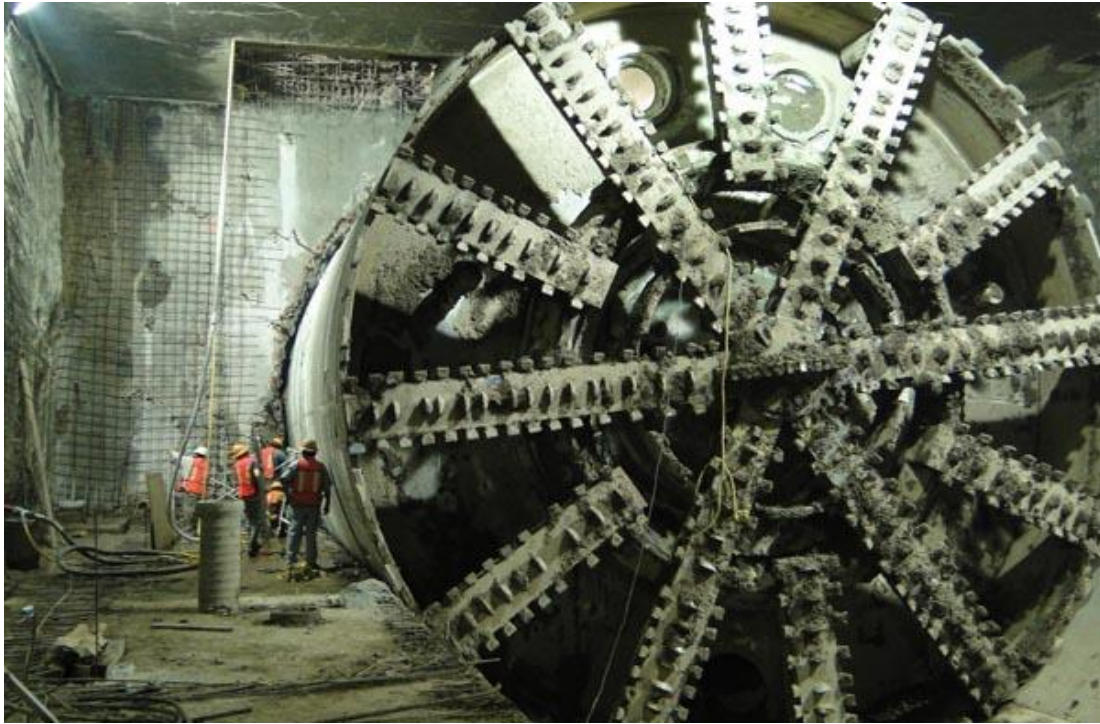
Figura 41. Escudo de Presión Balancead (EPB).



**Figura 42. Escudo de Presión Balanceada (EPB).**



**Figura 43. Escudo de Presión Balanceada (EPB).**



**Figura 44. Escudo de Presión Balanceada (EPB).**



**Figura 45. Escudo de Presión balanceada (EPB).**



Figura 46. Escudo de Presión Balanceada (EPB).

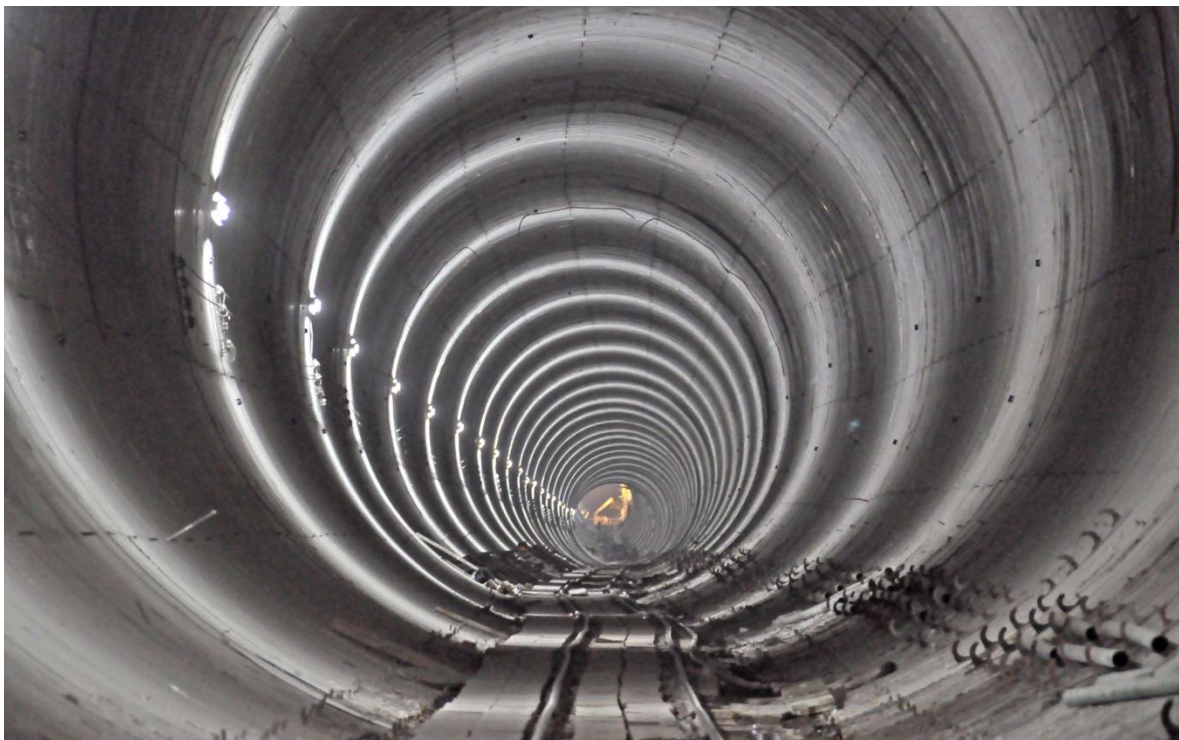


Figura 47. Escudo de presión Balanceada (EPB).



## **CRUCES DEL TÚNEL CON ESCUDO.**

- Por debajo del Antiguo Canal de la Viga.
- Por debajo del Colector “Ejido”.
- Por en medio de dos columnas de Circuito Interior.
- En Calzada de Tlalpan por debajo de la Línea 2 del Metro.
- En Avenida Universidad por debajo de la Línea 3 del Metro.
- En Avenida Insurgentes Sur por debajo de la Calzada.

## **BENEFICIOS SOCIALES.**

- 437 mil pasajeros diarios.
- Ahorro de tiempo.
- Accesibilidad universal.
- Servicios públicos.
- Fortalecerá la red.
- Seguridad, confort y economía.

## **BENEFICIOS AMBIENTALES.**

- 21,700 toneladas de carbono por año.
- Ahorro del 11% de energía eléctrica.
- Planta de tratamiento de aguas residuales y aceitosas.
- Respeto al suelo urbano, arquitectónico y de Conservación.
- Reducción vehicular.

## **BENEFICIOS ECONÓMICOS.**

- Ahorro de \$7.50 / viaje.
- Más de 25 mil fuentes de empleo.
- Volúmen de negocio de 20 mil millones de Pesos.
- Ahorro de 525 mil horas hombre al día.

## **BENEFICIOS PARA LA INGENIERÍA.**

- Renace la ingeniería mexicana.
- La Línea Dorada también es la Línea del Renacimiento, pues es la línea que conjuga todas las acciones del Gobierno de la Ciudad para dar paso a una ciudad de vanguardia.



## **4.2 Uso de escudo para la construcción subterránea de la estación Zapata**

### **4.2.1 Desembarcación de tuneladora para Línea 12 del Metro**

El Escudo de Presión Balanceada (EPB) o tuneladora que se empleó para la construcción de los 9 kilómetros subterráneos de Línea 12 del Metro llegó a México, procedente de cinco países.

La tuneladora Robbins, adquirida por el consorcio constructor de la Línea Dorada, fue mandada a hacer a medida para los suelos blandos por donde pasarán los túneles.

Por ella, ICA, CICSA y Alstom pagaron aproximadamente 23 millones de dólares -299.7 millones de pesos, al valor de cambio actual.

Llego al puerto comercial de Lázaro Cárdenas, en Michoacán, arribó el primer barco procedente de Corea, Asia, que trasladó la transmisión que hará operar al escudo.

Por la aduana de Nuevo Laredo entraron, procedentes de Estados Unidos, 14 contenedores con los paquetes eléctricos, transformadores y bombas de lodos, que permiten aspirar e impulsar los sólidos.

Otros elementos del escudo, como los equipos electrohidráulicos que sirvieron para que la tuneladora opere correctamente en el subterráneo, llegan por contenedores vía Manzanillo, procedentes de China y Japón.

De Alemania proceden los elementos para el rodamiento principal del escudo, que tiene un peso de 900 toneladas y una longitud de 90 metros.

La lumbrera por donde se introdujo el escudo de 14 metros de ancho y 39 de largo lleva un avance total.

Dicha lumbrera la fosa por donde entro la maquinaria se ubica en Ermita Iztapalapa, entre el Eje 3 Oriente y Calzada de la Viga, a unos metros de la nueva estación Mexicaltzingo.

Desde ahí, la tuneladora avanzo siguiendo el trayecto de la línea, debajo de los Ejes 7 Sur Municipio Libre y el mismo 8 Sur Ermita Iztapalapa.





La Línea del Bicentenario tiene en total ocho estaciones subterráneas y la maquinaria opero a una profundidad de hasta 20 metros.

El escudo fue pre-armado en la parte exterior del cajón de la línea, y después fue bajado a la lumbrera, donde hubo rieles para su deslizamiento.

Mientras tanto, la Dirección General del Proyecto Metro trabaja también con la planta de dovelas, elementos de concreto con las que se protege el túnel, y que la tuneladora va colocando conforme avanza en la perforación.

#### **4.2.2 Información Geotécnica en la salida de lumbrera**

En su primer tramo, del cadenamiento 20+362 al 21+700, denominada zona homogénea 1, el túnel pasa por suelos arcillosos que se caracterizan por su consistencia blanda y su alta plasticidad, intercalados por lentes de arena y ceniza volcánica. Por encima de estas arcillas blandas se encuentra un estrato de arcilla arenosa de consistencia firme y mas arriba la costra o relleno superficial de materiales areno – limoso. Bajo el estrato arcilloso sobre el que corre el túnel se encuentran los depósitos profundos de limos arenosos y arenas con grava aisladas.

En la Tabla 16 se indica el modelo geotécnico simplificado a la salida de la lumbrera de inicio.

**Tabla 16. Modelo geotécnico general de referencia**

<b>Descripción</b>	<b>Estrato</b>
Relleno de arena y limo con fragmentos de concreto NAF	1
Arcilla arenosa de consistencia media a firme, de baja plasticidad	2
Arcilla muy blanda a media, de alta plasticidad	3
Lente de arena	Arena
Arcilla muy blanda a media de alta plasticidad	4
Lente de arena	Arena
Arcilla muy blanda a media, de alta plasticidad	5
Arcilla limosa, poco arcillosa, en estado muy compacto	6



A la salida de la lumbrera, a la clave se tiene una cobertura de 7.05 m, con una profundidad a nivel de piso de 17.25 m. De acuerdo a lo anterior, la parte superior del frente de excavación estará localizada principalmente en el estrato número 3, formado por arcillas de consistencia de muy blanda a blanda, de alta plasticidad, con baja resistencia al esfuerzo cortante.

#### **4.2.3 Inicio y avance del proceso de excavación con escudo EPB**

El 18 de febrero del 2010, se inició el proceso de excavación. En una primera etapa y previo a la demolición de los muros de la lumbrera en la zona de la salida, se excavo la zona de tratamiento, proceso mediante el cual fue necesario colocar 7 anillos para la reacción del escudo sobre el marco metálico.

En días posteriores el escudo EPB se localiza dentro de terreno natural, teniendo 14 anillos colocados tal como se observa en la siguiente Figura 48.

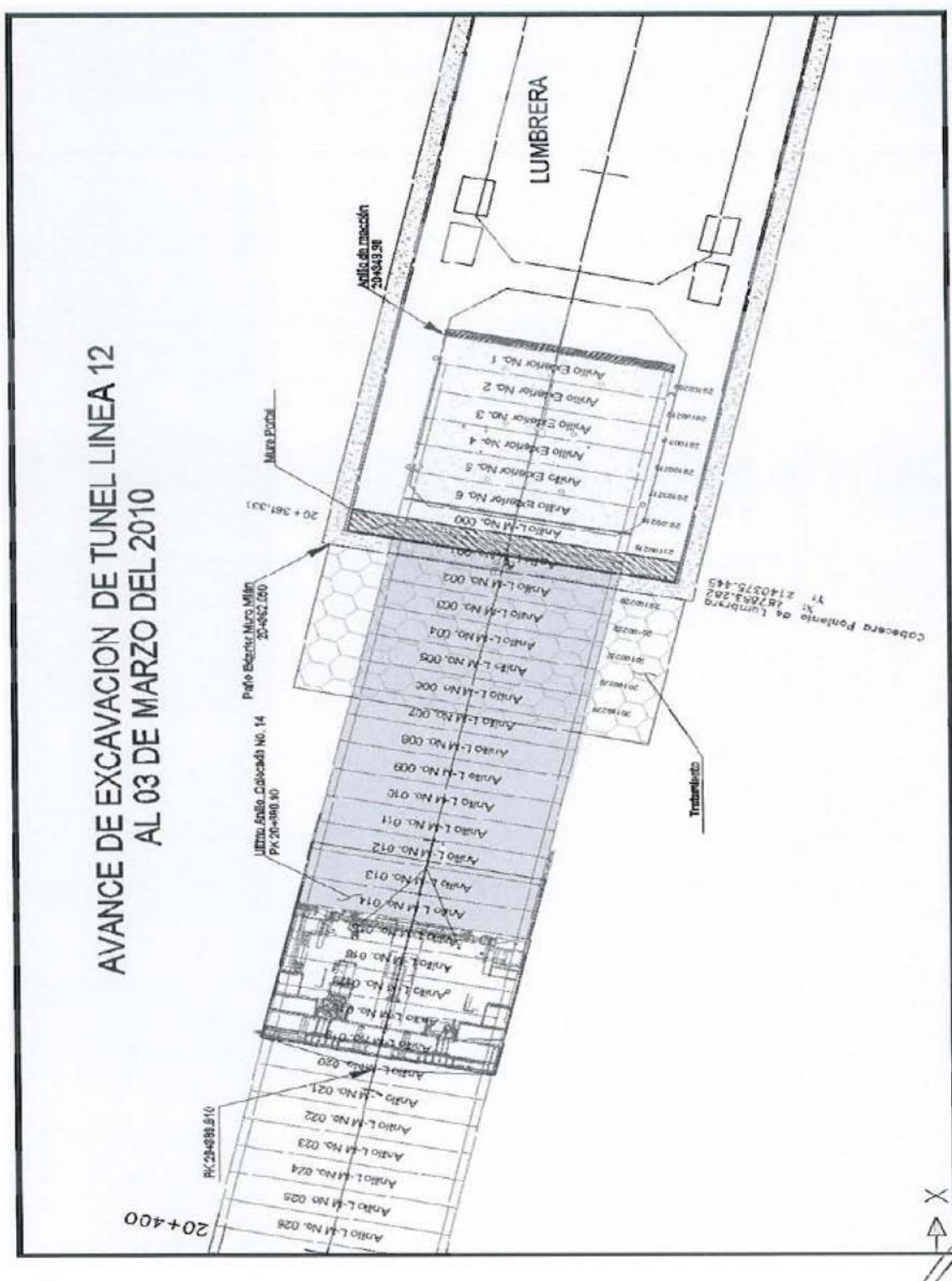


Figura 48. Avance de excavación y colocación de anillos.



#### 4.2.4 Control de presiones frontales

En la Tabla 17 , se indican las presiones frontales promedio medidas en las líneas de los sensores A,C y E, en los cuales se lleva el monitoreo y control durante cada avance. En la Figura 49 se indica cada línea de sensores.

Tabla 17. Parámetros del control del escudo durante el inicio de la excavación.

No. Anillo	Fecha de colocación	Fuerza de empuje máx [Ton]	Presión media tornillo sinfín 1 [bar]	Presión en el frente Superior [bar]	Presión en el frente Centro [bar]	Presión en el frente Interior [bar]	Velocidad media de avance [mm/min]	Velocidad de giro Rueda de corte [rpm]	Torque rueda de corte [kNm]
0	18-feb-10	1570	2.78	0.65	1	1.15	22	1.5	2570
1	19-feb-10	2070	2.37	1.22	1.51	1	22	1.5	2600
2	19-feb-10	2240	2.42	1.26	1.5	1.74	33	1.5	2730
3	20-feb-10	2200	2.5	1.06	1.53	1.63	19	1.5	2500
4	22-feb-10	2170	1.48	1.22	1.45	1.68	22	1.5	1540
5	23-feb-10	2200	2.2	1.18	1.73	1.8	25	1.5	2500
6	23-feb-10	1960	2.2	1.3	1.46	1.63	22	1.5	1720
7	24-feb-10	2080	3.4	1.52	1.6	1.68	33	1.47	2100
8	24-feb-10	1700	2.35	0.97	1.57	1.68	20	1.47	1780
9	25-feb-10	1762	2.68	1.18	1.43	1.65	27	1.48	1690
10	25-feb-10	1650	3.07	1.01	1.62	1.65	30	1.47	1950
11	26-feb-10	1650	3.03	1.08	1.64	1.76	20	1.47	1515
12	26-feb-10	1682	3.38	1.28	1.48	1.64	29	1.48	1841
13	26-feb-10	1815	3.03	0.99	1.59	1.84	25	1.47	1850
14	27-feb-10	1856	3.45	1.29	1.47	1.65	18	1.48	1693



En función del comportamiento observado, puede reiterarse que la estimación de los calculos teoricos deben verificarse de acuerdo con las condiciones que se encuentran en campo al momento de la excavación. Para ello es necesario correlacionar las presiones frontales con el monitoreo delos asentamientos en superficie de manera que puedan relacionarse con la presión aplicada en la camara del escudo, y asi determinar el criterio que mejor aplique a las condiciones del sitio.

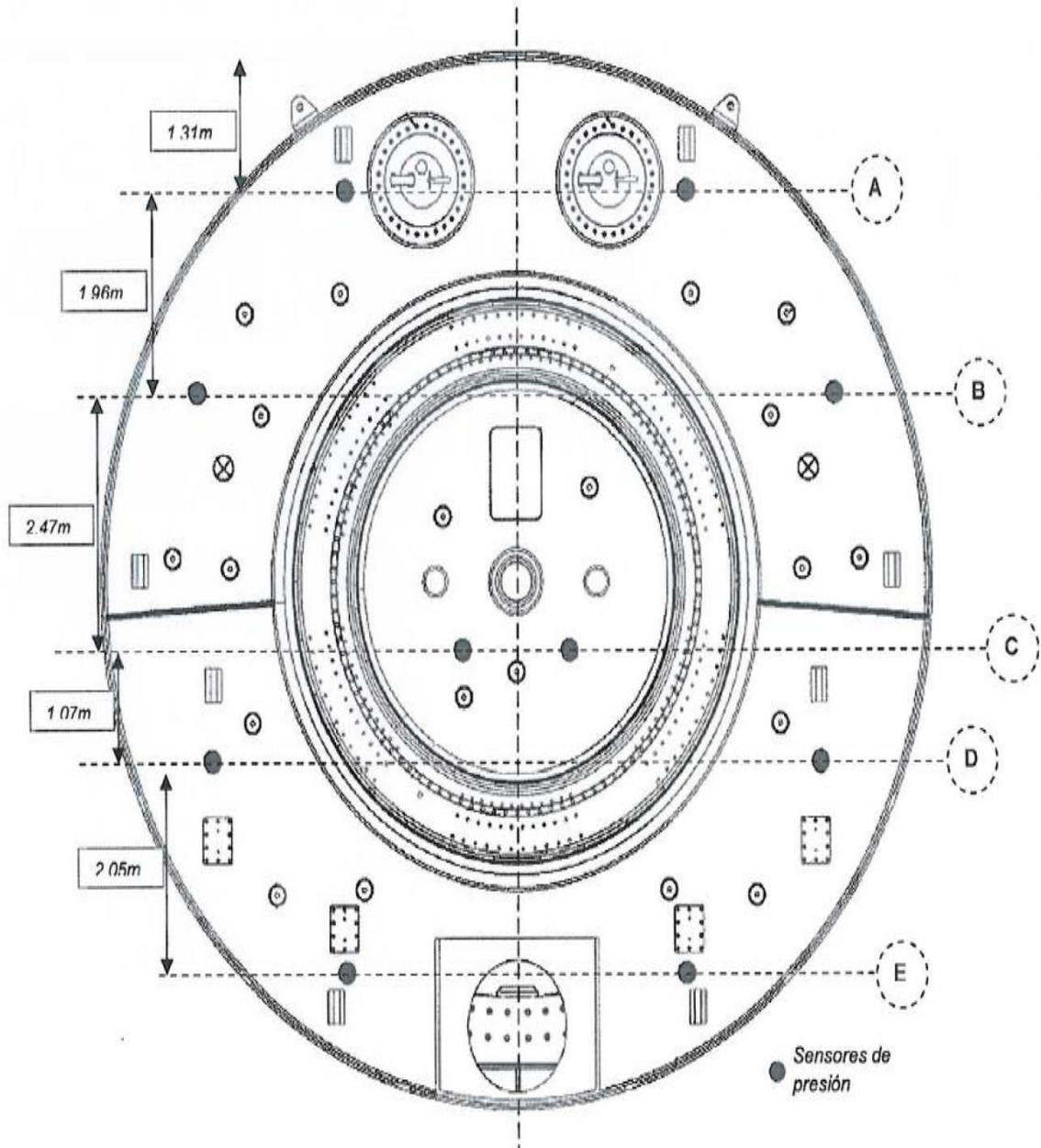


Figura 49. Posición de los sensores de presión en la cámara del escudo EPB.



#### 4.2.5 Control de volúmenes de inyección

Durante el proceso de excavación, se genera un espacio anular entre el límite de excavación y el paño exterior de los anillos de dovelas, el cual debe ser rellenado de manera simultánea a la excavación.

En este sentido, si el diámetro de la excavación del escudo EPB es de 10.18 m y el diámetro exterior de los anillos de las dovelas es de 9.91 m, existirá un espacio anular teórico correspondiente a 6.4 m<sup>3</sup> por cada 1.5 m de avance.

De acuerdo a lo anterior en la Tabla 18, se indican los volúmenes de inyección por anillo, y en su caso de re-inyección. En general, los volúmenes han sido por arriba del teórico, con un buen control, en el caso de los anillos 13 y 14 aún se encuentran dentro del rango del escudo.

Tabla 18. Volúmenes de inyección y reinyección de los anillos colocados

No. Anillo	Fecha de colocación	Volumen de Inyección [m3]	Presión [bar]	Volumen de reinyección [m3]	Fecha de reinyección	Presión [bar]
1	19-feb-10	6.3	3.0-3.5			
2	19-feb-10	8.72	1	1	27-feb-10	1
3	20-feb-10	8.17	1.2	2.5	02-mar-10	1.5
4	22-feb-10	7.48	1.8	2.5	01-mar-10	1.0-1.5
5	23-feb-10	9.08	1.3			
6	23-feb-10	6.4	1.4			
7	24-feb-10	9.7	0.7	1.5	02-mar-10	1.5
8	24-feb-10	7.4	1.7			
9	25-feb-10	10.28	1.7	6	01-mar-10	0.5-1.0
10	25-feb-10	8.47	1			
11	26-feb-10	7.7	1.8			
12	26-feb-10	5.45	1			



### **4.3 Control de hundimientos sobre el eje del tunel**

Para el monitoreo y el control de los hundimientos del terreno se han colocado en la superficie referencias superficiales a cada 20m, sobre el eje del tunel.

En la grafica de la Figura 50, se indica el monitoreo de las referencias superficiales sobre el eje del tunel, en el periodo del 17 de Diciembre del 2009 al 2 de Marzo de 2010. En general se observa una estabilidad del terreno, con hundimientos verticales maximos en superficie por delante de la cabeza de corte de 1.9 cm. No se observan bufamientos.

Los hundimientos se encuentran dentro de los valores teoricos estimados (4 cm), los cuales fueron reportados en los documentos PMDF-10-MS-612000.

Adicionalmente, tanto fuera como dentro de la zona de influencia del escudo, se observan ligeras fluctuaciones en las nivelaciones, las cuales muy probablemente se deben al transito pesado de vehículos, situación que debe vigilarse para evitarse lecturas no representativas.

### **4.4 Hundimientos sobre la linea de colimacion ( 5m al sur del eje del tunel )**

Adicionalmente a las mediciones superficiales sobre el eje del tunel, a la salida de la lumbrera y a 5m del eje del tunel, se tiene un control o linea de colimación, tal y como se observa en la Figura 50.

Se observa que a la fecha, a 5 m del eje del túnel, se han presentado un hundimiento puntual del terreno, del orden de 7 cm. A la fecha se observa un comportamiento estable en el terreno. El movimiento puntual se detectó a partir del 26 de febrero, con valores de orden de 3.5 cm, mientras que para la misma fecha en el eje se tenía un valor de 0.5 cm.

El inicio del movimiento puntual fue el 26 de febrero, fecha que corresponde con el montaje del anillo 11, momento en el cual el escudo estaba entrado completamente al terreno natural. En esta condición es muy probable que parte del material arcilloso de consistencia blanda y muy plástico, fluyera hacia la zona del tratamiento; es decir, hacia el espacio comprendido entre la excavación y el borde exterior de los anillos de dovelas. Esta situación, se puede considerar como parte del proceso normal de salida del escudo, situación que no representa riesgo alguno, ya que al día de hoy el terreno está completamente estable.

**Víctor Manuel Romero Romero**

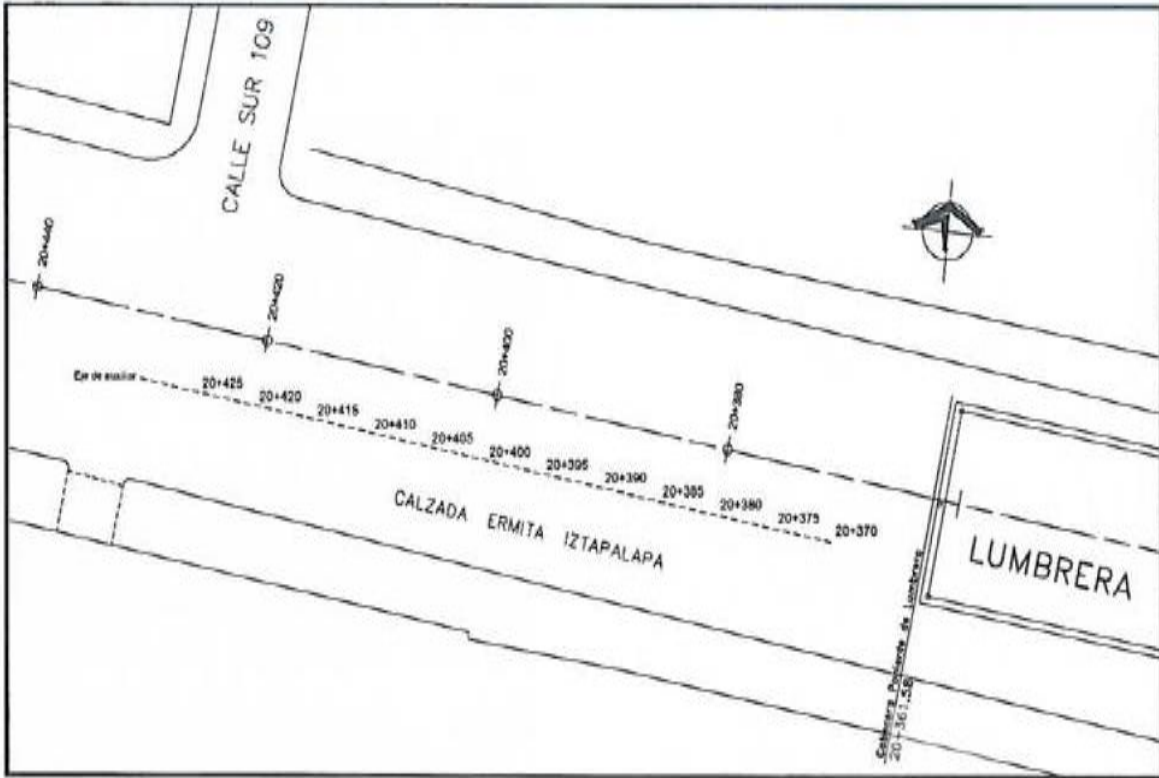


Figura 50. Monitoreo de los desplazamientos sobre la línea de colimación.





## 5 CONCLUSIONES

La Línea 12 es un proyecto con un conjunto de empresas que dispusieron sus conocimientos tecnológicos para su construcción, que es de gran importancia en la zona poniente de la Ciudad. La Línea 12 es un proyecto benéfico para las personas que tienen su área de trabajo principalmente en la zona poniente de la Ciudad de México y gracias a su trazo que pasará de un recorrido que duraba tres horas en camión o en microbús a menos de una hora.

En todos estos procesos siempre estuvo el interés de realizar una obra con mucho dinamismo cuidando los más mínimos detalles y teniendo una amplia visión en todos los procesos, los cuales llevaron una continuidad entre ellos, dando muestra de eficacia y profesionalidad en cuanto a diseño y control, es por esto que la obra se terminó con gran éxito.

La construcción de la estación de la Línea 12 del Metro fue realizada siguiendo las normas y especificaciones vigentes y su comportamiento durante la excavación fue adecuado.

Además de que se tomó en cuenta para la construcción el impacto ambiental que es algo nuevo para el reglamento de construcción del Distrito Federal ( RCAF ), y tomando en cuenta al INHA en caso de que se encontrarán vestigios arqueológicos siendo la Ciudad de México una Ciudad con Historia.

En la selección del equipo de construcción deberá tomarse en cuenta que las operaciones cumplan con el programa de obra y que se respeten las especificaciones constructivas. Así mismo en el proyecto se usó la técnica de excavación con escudo de presión balanceada (EPB), para hacer los túneles que conectan a las estaciones del metro, que sólo se había hecho en el drenaje profundo, haciendo que esta línea tenga innovaciones en la construcción de la Línea del Metro.

Construir en el suelo de la Ciudad de México, muchas veces resulta una labor complicada, ya que tiene la característica particular de que gran parte está construida en una zona donde alguna vez hubo un lago. Lo cual hace que se tenga un suelo con material inestable complicando y encareciendo el poder edificar.

**Víctor Manuel Romero Romero**



En lo referente al proceso de construcción es indispensable la experiencia pues algunos aspectos delicados son necesarios determinarlos con precisión y mucha exactitud con el fin de lograr una estructura idónea. Además es necesaria una adecuada exploración del subsuelo para el diseño y el proceso constructivo.

Para esta técnica de construcción se debe tener vital importancia en los estudios de mecánica de suelo, tomando en cuenta la profundidad que se requería y el tipo de materiales que se encontraban en el sitio. Se entiende que es muy importante contar con un buen programa de obra, conociendo las variantes que podrían impedir el poder llevar acabo las actividades planeadas, ya que en ocasiones no es posible construir con la rapidez deseada, por agentes externos a la obra.



## BIBLIOGRAFÍA

Manual de Construcción Geotécnica Tomo II, Juan Schmitter Martín del Campo, José A. Segovia Pacheco, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Mecánica de Suelos Tomo II, Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez, Editorial LIMUSA, Segunda Edición, Tercera Reimpresión.

Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Carlos Crespo Villalaz, Editorial LIMUSA, Segunda Edición, 2005.

Gaceta Oficial del Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

Manual de Diseño Geotécnico, Volumen I, COVITUR, Departamento del Distrito Federal, Enrique Tamez, 2006.

<http://www.metro.df.gob.mx>

<http://www.proyectometro.df.gob.mx>

<http://www.wikipedia.com>

Consorcio Línea 12. Clave PMDF-10-MS-612290-III-0031-07331-P-00 OK. México.

Consorcio Línea 12. Clave PMDF-10-MS-612290-III-0033-07333-P-00. México.

Consorcio Línea 12. Clave PMDF-10-MS-612290-III-0033-07333-P-00 OK. México.

Consorcio Línea 12. Clave PMDF-10-MS-612290-III-0035-07335-P-00 OK. México.

Consorcio Línea 12. Clave PMDF-10-EST-612290-III-9002-06490-M-00. México.

Consorcio Línea 12. Clave PMDF-10-EST-612290-III-1151-06408-P-00 OK. México.