

## **CAPÍTULO II PERFIL ESTRATIGRAFICO**

### **2.1 Trazo y Perfil del Túnel Mexicaltzingo-Mixcoac.**

Antes de que un túnel se pueda planear en líneas generales y diseñar a detalle, se deberá reunir información sobre los aspectos físicos del proyecto, además de los estudios económicos, los cuales tienen una relación directa. La necesidad de una detallada y extensa investigación es probablemente mayor que para la mayoría de otros tipos de construcción. La construcción de túneles es altamente costosa, pero lo sería más si se ahorrara en investigaciones necesarias para hacer una mejor selección de su trazo y perfil.

Para determinar el trazo y perfil del túnel se deberá contar con la topografía del área en cuestión hasta el más amplio grado práctico, junto con los antecedentes de cualquier alteración importante del terreno, así como los datos geológicos y geotécnicos. Al proyecto general de los posibles trazos y perfiles basados en la topografía le sigue un examen detallado de las posibles alternativas hasta el punto en que se pueda seleccionar el alineamiento más favorable y evidente.

La importancia de disponer de un buen sistema de control de trazo y perfil en el área de construcción del túnel es por que proporciona la base de la localización de las estructuras, instalaciones, vías de acceso, etc., tanto en la etapa de proyecto como en la de construcción.

### 2.1.1 Trazo

El trazo de la Línea 12 Tláhuac-Mixcoac está basado en las Especificaciones para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México.

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

En su concepto general el trazo está dividido en cuatro tramos, diferenciándose entre ellos por su sección tipo: superficial, elevada, cajón subterráneo y túnel.

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

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

El trazo definitivo de la Línea 12, es el resultado de un análisis y estudio profundo de movilidad y captación de usuarios, además de ser condicionado por algunos elementos existentes, tales como:

- Obras inducidas
- Asentamientos urbanos
- Tránsito vehicular
- Condiciones del subsuelo
- Topografía del terreno
- Afectaciones
- Vialidades existentes
- Correspondencias
- Arqueología

Aparte de dichas condicionantes, el trazo debe cumplir ciertas especificaciones para cada uno de sus elementos. Los elementos del trazo son la tangente, la curva circular y la curva de transición, en donde cada uno tiene diferentes efectos en la operación, velocidad, confort y seguridad del usuario y es por esta razón que se debe de estudiar cada uno de estos elementos por sí solo ya que son de gran importancia para el trazo.

El diseño de la Línea 12, se ha realizado adoptando los parámetros recomendados para los elementos del trazo, adaptándolos a la velocidad del proyecto establecida en las bases de diseño (publicadas en Septiembre del 2008).

La tabla 2.1 resume las especificaciones de trazo para el proyecto y construcción de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.

		Especificaciones (1)	Bases de diseño	Valores Aplicados	
TRAZO	Radio de curvatura horizontal	$R_{\min}$ Vías principales [m] $R_{\min}$ Vías secundarias [m]	150 60	200 70	250 (2) 70
	Longitud mínima	$L_{\min}$ Tangente [m]	16	No existe	$V_p/2$ (3)
	Sobreelevación	$h_{\max}$ Peralte práctico[mm]	160	No existe	160
		$h_{\max}$ Peralte teórico[mm]	310	No existe	310
		Pend. Peralte máx. [mm/m]	3	No existe	3
		Variación del peralte[mm/s]	No existe	No existe	50
	Aparatos y estaciones.		En tangente	No existe	En tangente

**Tabla 2.1 "Especificaciones de trazo para el proyecto y construcción de la Línea 12".**

1. La normativa utilizada es la recogida en las "Especificaciones para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México".
2. Longitud mínima entre dos curvas consecutivas.

El valor aplicado para la velocidad de proyecto son las siguientes:

- La velocidad máxima de diseño del proyecto según las "Especificaciones para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México" es  $V_p = 90$  km/h.
- La velocidad máxima de servicio del proyecto según las "Especificaciones para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México" es  $V_p = 85$  km/h.

Como ya se menciona en el capítulo I, la Línea 12 está compuesta por 20 estaciones, que van desde Tlahuac hasta Mixcoac; la tabla 2.2 indica los cadenamientos y distancias entre las estaciones que conforman el trazo de la sección tipo túnel.

ESTACIÓN	CADENAMIENTO		
	INICIO	PM	FINAL
LUMBRERA DE ENTRADA			20+354.35
Distancia [m]	519.201		
MEXICALTZINGO	20+873.551	20+950.551	21+027.551
Distancia [m]	1767.053		
ERMITA	22+794.604	22+871.604	22+948.604
Distancia [m]	924.429		
EJE CENTRAL	23+873.033	23+950.033	24+027.033
Distancia [m]	1340.946		
PARQUE DE LOS VENADOS	25+367.979	25+444.979	25+521.979
Distancia [m]	482.237		
ZAPATA	26+004.216	26+081.216	26+158.216
Distancia [m]	446		
20 DE NOVIEMBRE	26+604.216	26+681.216	26+758.216
Distancia [m]	710.512		
INSURGENTES SUR	27+468.728	27+545.728	27+622.728
Distancia [m]	180.423		
LUMBRERA DE SALIDA			27+803.151
LONGITUD DEL TÚNEL [m]	6370.801		
Distancia [m]	487.381		
MIXCOAC	28+290.532	28+367.532	28+444.532

Tabla 1.2 “Cadenamientos y distancias entre las estaciones que conforman el trazo de la sección tipo túnel”.

Con base en la tabla anterior la longitud total a excavar con escudo es 6,370.801m, que es la distancia que existe entre la lumbrera de entrada que se encuentra en el Cadenamiento 20+354.35 un poco antes de la estación Mexicaltzingo y la lumbrera de salida que está en el Cadenamiento 27+803.151, después de la estación Insurgentes Sur, esta longitud no corresponde a la diferencia de los dos cadenamientos ya que el escudo no excava la zona de las estaciones, porque en estas se harán excavaciones a cielo abierto.

La figura 2.1 muestra el trazo definitivo de la Línea 12, dividido en tramos diferenciándose entre ellos por su sección tipo, así como la longitud total por excavar, las estaciones y correspondencias que la Línea tendrá.

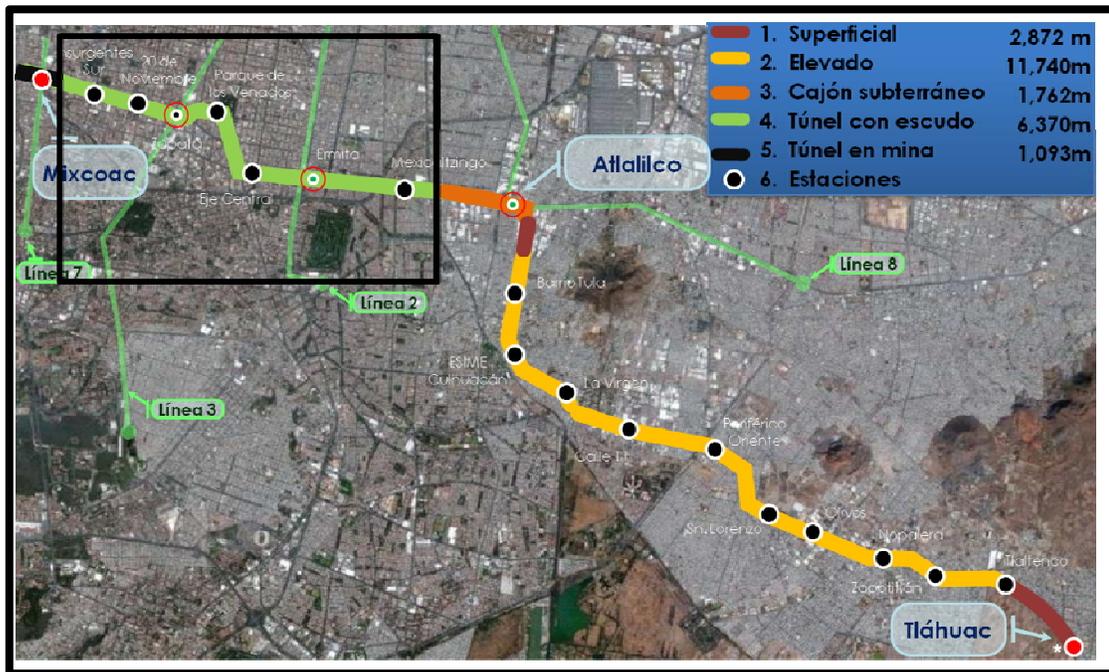


Figura 2.1 Trazo Definitivo Línea 12

### 2.1.2 Perfil

El perfil de la Línea 12 Tláhuac-Mixcoac está basado en las Especificaciones para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México.

El perfil definitivo de la Línea 12, es el resultado de un análisis y estudios profundo de los diferentes condicionantes de diseño de la Línea, tales como:

- Topografía del terreno
- Obras inducidas
- Geotecnia
- Líneas existentes
- Condicionantes de operación
- Condicionantes de los aparatos de vía
- Arqueología

Aparte de dichos condicionantes, el perfil debe cumplir ciertas especificaciones para cada uno de los elementos. Los elementos del perfil son las pendientes y las curvas verticales de transición.

La tabla 2.3 resume las especificaciones de perfil para el proyecto y construcción de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.

		especificaciones (1)	Bases de Diseño	Valores Aplicados
PERFIL	Radio de Curvatura Vertical	$R_{\min}$ deseables [m]	2500 (v=80)	No existe 3125 (v=90)
		$a_v$ Aceleración vertical [ $m/s^2$ ]	No existe	No existe 0.2
	Longitud Mínima	$L_{\min}$ Rampa con pendiente uniforme [m]	16	No existe $V_p/2$
		$S_{\max}$ [%]	4	4 2
		$S_{\min}$ Tramo interestación en túnel y cajón subterráneo o superficial [%]	0.2	No existe 0.2
		$S_{\min}$ Tramo interestación elevado [%]	0.3	No existe 0.3
	Pendientes	Estaciones [%]	0	No existe 0
		Vías de estacionamiento [%]	0	No existe 0
		Aparatos de vía [%]	2	No existe 0
		En talleres [%]	0	No existe 0

Tabla 2.3 "Especificaciones de perfil para el proyecto y construcción de la Línea 12".

1. La normativa utilizada es la recogida en las "Especificaciones para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México".
2. Longitud mínima entre dos curvas consecutivas.

Los valores aplicados para la velocidad de proyecto son los mismos que se utilizaron para el trazo del proyecto.

El inicio de perfil se encuentra en el cadenamamiento 3+936.063 el cual tiene una cota de 2,236.15 m.s.n.m., en donde se encuentra la cola de maniobra y la estación terminal Tláhuac, el final del perfil se encuentra en el cadenamamiento 28+896 y tiene una cota de 2,246.35 m.s.n.m. referido a la cabecera poniente de los andenes de la estación Mixcoac.

A continuación se hace un breve resumen del perfil en el tramo con sección tipo túnel.

En el 20+354.325 finaliza el tramo subterráneo en cajón e inicia el túnel. La rasante del túnel parte inicialmente en un tramo horizontal para facilitar la maniobra del escudo hasta el cadenamiento 20+396.337, posteriormente continúa con una pendiente del 0.30% hasta el cadenamiento 20+729.670 a partir del cual se mantiene horizontal hasta el 21+133.683 en este tramo se encuentra la estación Mexicaltzingo. Tras este punto la rasante desciende con el -1.0% hasta el cadenamiento 21+417.252 y posteriormente con un -0.2% hasta el 22+359.695, con el fin de pasar bajo el colector y encauzamiento del río Churubusco. En todo el perfil del túnel se ha intentado mantener una cobertura mínima de 8 metros posteriormente la rasante sube con 1.0% hasta el cadenamiento 22+571.752 de forma que se llegue a la cota necesaria para la ubicación de la estación Ermita. A continuación sigue un tramo horizontal hasta el cadenamiento 23+298.934, en el que se ubica la estación Ermita y dos aparatos de vía. Después de pasar bajo la calzada Tlalpan, la pendiente asciende con el 0.45% hasta el 23+798.934. A partir de este punto y hasta el 24+052.909 es horizontal. En este tramo se encuentra la estación Eje Central. Posteriormente la rasante desciende con una pendiente del -0.65% hasta el cadenamiento 24+493.401 a partir del cual vuelve a elevarse con una pendiente del 0.20% hasta el 24+906.327 y del 1.2% a partir de este punto y hasta el 25+334.439, le sigue un tramo horizontal que comienza en el cadenamiento anterior y finaliza en el 25+566.100 en este tramo se encuentra la estación Parque de los Venados. El perfil se eleva posteriormente con una pendiente del 0.60% hasta el 25+786.100, a partir de donde se vuelve nuevamente horizontal hasta el cadenamiento 26+178.693 en este tramo se encuentra la estación Zapata. En él, el perfil está condicionado por la presencia de la Línea 3, que discurre bajo la Avenida Universidad, bajo la que pasa la línea 12.

Tras este punto la rasante se eleva con una pendiente del 1.2% hasta el 26+250.794, donde el perfil se vuelve a situar en horizontal para poder alojar un aparato de vía, este tramo horizontal continúa hasta el 26+373.046. De nuevo la rasante se eleva con una pendiente del 2.0% hasta el 26+553.286. A partir de este punto y hasta el 26+834.377 el perfil es horizontal, en este tramo se encuentra la estación 20 de Noviembre. Siguiendo el perfil del terreno natural, la rasante se eleva de nuevo con una pendiente del 1.2% hasta el cadenamiento 27+412.711. A partir de este punto y hasta el 27+657.253 es horizontal. En este tramo se encuentra la estación Insurgentes Sur. Posteriormente la rasante se eleva nuevamente con una pendiente del 2.0% hasta el cadenamiento 28+143.253 en este tramo (en el cadenamiento 27+803.151) se ubica la lumbrera de salida del escudo.

A partir del punto donde termina la pendiente del 2.0% y hasta el final del tramo el perfil es horizontal. En este tramo se encuentra un aparato de vía, la estación Mixcoac y la cola de maniobra, donde comienza el depósito Mixcoac. En él, el perfil está condicionado por la presencia de la Línea 7, bajo la avenida Revolución, sobre la que pasa la Línea 12.

La tala 2.4 resume los parámetros geométricos aplicados y el listado de alineaciones de la Línea 12 en el tramo Mexicaltzingo-Mixcoac.

ID	Pendiente %	Longitud Curva		Vértice	
		Vertical [m]	Radio [m]	Origen	Cota [m]
Mexicaltzingo	0	45	4500	21133.683	2221.15
40	-1	40	5000	21417.252	2218.314
41	-0.2	45	3750	22359.695	2216.429
42	1	50	5000	22571.752	2218.55
Ermita	0	45	10000	23298.934	2218.55
44	0.45	45	10000	23798.934	2220.8
Eje Central	0	39	6000	24052.909	2220.8
46	-0.65	42.5	5000	24493.401	2217.937
47	0.2	50	5000	24906.327	2218.763
48	1.2	48	4000	25334.439	2223.9
Parque de los V.	0	30	5000	25566.1	2223.9
50	0.6	30	5000	25786.1	2225.22
Zapata	0	37.5	3125	26178.693	2225.22
52	1.2	37.5	3125	26250.794	2226.085
53	0	70	3500	26373.046	2226.085
54	2	62.5	3125	26553.286	2229.69
20 de Noviembre	0	45	3750	26834.377	2229.69
56	1.2	45	3750	27412.711	2236.63
Insurgentes Sur	0	62.5	3125	27657.253	2236.63
58	2	62.5	3125	28143.253	2246.35
Mixcoac	0				

Tabla 2.4 "Parámetros geométricos de alineaciones de la Línea 12 Mexicaltzingo-Mixcoac"

Como se podrá observar en el cuadro resumen anterior todas las especificaciones que se tenían para el perfil se cumplen (radios de curvatura vertical y pendientes).

La figura 2.2 muestra el perfil completo de la Línea 12, muestra los cuatro tipos de secciones que conforman a la Línea. La longitud de la sección tipo túnel incluye la excavada con escudo y con método convencional (tipo mina).

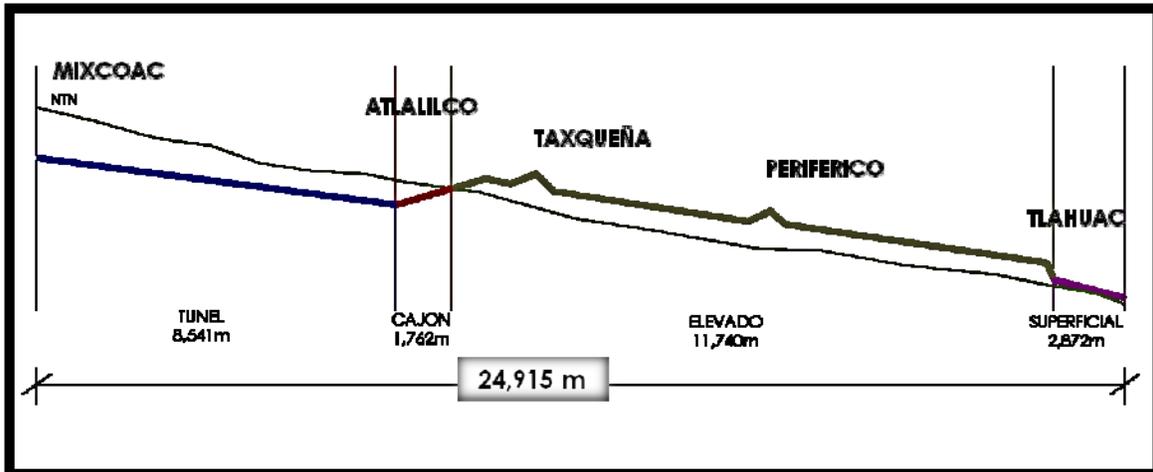


Figura 2.2 Perfil de la Línea 12

## 2.2 Perfil Estratigráfico

Una vez que se tiene definido el trazo y el perfil del túnel tenemos que saber con qué tipo de suelo vamos a trabajar y es por esta razón que nos vemos en la necesidad de conocer el perfil estratigráfico del proyecto, ya que nos servirá de base para seleccionar el tipo de escudo y el revestimiento del túnel.

El perfil estratigráfico indica una sección vertical a través del terreno, que muestra los espesores y el orden de sucesión de los estratos. El termino estrato se aplica a una capa de suelo relativamente bien definida, que se halla en contacto con otras capas de características similares o diferentes.

Para conocer el perfil estratigráfico del trazo del túnel los medios principales que se utilizan son las pruebas de laboratorio y las pruebas en "situ", cuyo objetivo es identificar y localizar con exactitud cada estrato importante para el trazo del túnel propuesto.

Conforme a la zonificación geotécnica marcada en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCG-04), del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF-04), el tramo Mexicaltzingo-Nave de

depósito en Mixcoac de la línea 12 del Metro se ubica principalmente en las zonas II y III, con una pequeña parte en la zona I.

Y recordando que la zona I o de Lomas se encuentra formada por rocas o suelos generalmente firmes depositados fuera del ambiente lacustre, en los que pueden existir superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto, o cohesivos realmente blandos, la zona II o de transición se caracteriza porque los depósitos profundos se encuentran a 20 metros de profundidad o menos y está constituida principalmente por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre y la zona III se encuentra caracterizada por la presencia de potentes depósitos de arcilla de alta compresibilidad, separadas por capas arenosas de compacidad media a alta, con espesores variables desde unos centímetros a varios metros y los depósitos lacustres pueden estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados, y rellenos artificiales. Podemos decir que la Línea 12 estará situada en una zona muy compresible prácticamente en toda su extensión, en donde los asentamientos en superficie estarán presentes a cada instante.

La figura 2.3 fue tomada del las NTCG-04 y nos muestra el paso de la línea 12 a través de las diferentes zonas geotécnicas.

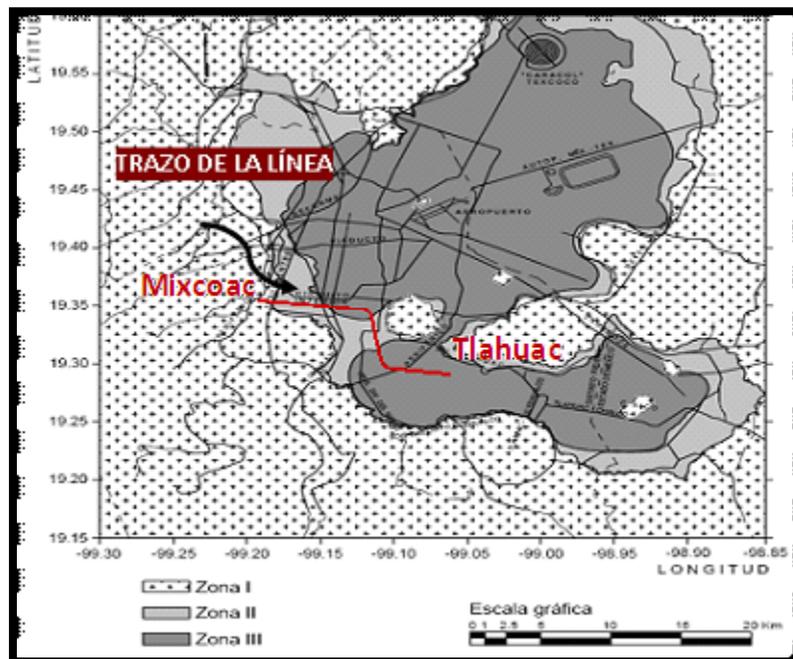


Figura 2.3 Paso de la línea 12 por diferentes zonas geotécnicas

La figura 2.4 muestra someramente el perfil estratigráfico del trazo de sección tipo túnel de la Línea 12, como se podrá observar coincide con lo señalado por la zonificación de las NTCG-04; el perfil estratigráfico a detalle se encuentra en el anexo 1.a. “Perfil estratigráfico definitivo desde eje 3 oriente hasta Mixcoac, tramo Atlalilco-Mixcoac”.

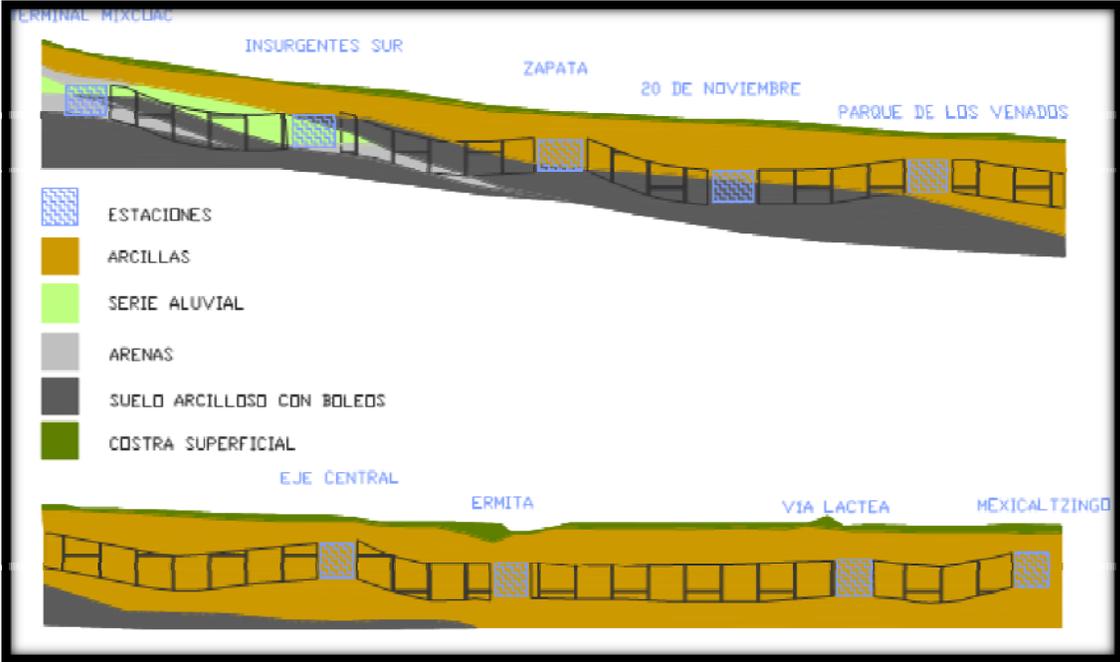


Figura 2.4 Perfil Estratigráfico