

# Producto 4 – Estudios y diseños de pre-factibilidad de pre-factibilidad

## Entregable 6 – Pre diseño geométrico del trazado | Definición estructura Metro ferroviarias



*Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021*



Mayo de 2021

# Producto 4 – Estudios y diseños de pre-factibilidad

## Entregable 6 – Pre diseño geométrico del trazado | Definición estructura Metro ferroviarias

---

Preparado por:

Unión Temporal Egis Steer  
Metro de Bogotá  
Carrera 15 #93a-62 Oficina 602  
Teléfono. 746 04 03  
Bogotá D.C. Colombia

+57 1 7460403

Preparado para:

Financiera de Desarrollo Nacional - FDN  
Av. Carrera 7 No. 71 - 42  
Torre B Piso 6  
Bogotá D.C. Colombia

Cliente ref: Contrato FDN 033 de 2020

Nuestra ref: 23858501

Este documento fue preparado por la Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá para Financiera de Desarrollo Nacional - FDN. La información contenida en este documento debe considerarse confidencial, cada destinatario reconoce la confidencialidad de la información aquí incluida y se compromete a no divulgarla de ninguna manera. Cualquier persona o institución que utilice cualquier parte de este documento sin el consentimiento expreso por escrito de Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá, se considerará que otorga su conformidad a indemnizar a la Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá por todas las pérdidas o daños que resulten de dicha utilización. La Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá ha llevado a cabo su propio análisis utilizando toda la información disponible en el momento de elaboración del presente documento y señala que la llegada de nuevos datos e información podría alterar la validez de los resultados y conclusiones que aquí se presentan. Por lo tanto, La Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá no se responsabiliza de los cambios en la validez de los resultados y conclusiones debido a eventos y circunstancias actualmente imprevisibles.



## Contenido

Glosario y abreviaturas.....	vii
1 Introducción .....	1
Antecedentes.....	1
Descripción de la SLMB.....	2
2 Alcance .....	6
Insumos principales para la elaboración del trazado .....	6
3 Criterios de Diseño Geométrico del trazado de la línea metro.....	9
Marco reglamentario y normativo .....	9
Velocidad de diseño.....	11
Parámetros geométricos en planta sistema metro .....	11
Parámetros geométricos en alzado sistema metro.....	12
Parámetros funcionales de diseño sistema metro (Confort) .....	13
Características del material rodante .....	13
Parámetros recomendados para el diseño vial urbano.....	14
Gálibos .....	15
Secciones tipo .....	17
4 Descripción del trazado .....	21
Corredor verde Carrera 7.....	23
Tramo 1 – Calle 72 entre Av. Caracas y Av. Ciudad de Cali .....	27
Tramos 2, 3, 4 y 5 - Av. Cali entre Cl 72 y Cr 104 .....	33
Tramo 6 – Conexión entre Av. Cali y Reserva ALO .....	40
Tramo 7 – Conexión entre Av. Cali y Reserva ALO .....	41
Tramo 8 – Av. Suba entre reserva vial ALO y Cr 136 <sup>a</sup> .....	45
Tramo 9 – Reserva vial Av. Suba entre Cr 136 <sup>a</sup> y Cr 147 .....	47
5 Esquema Funcional de la Línea.....	53
Descripción de la línea .....	53
Descripción de las colas de maniobra .....	53
6 Alternativas de trazado estación calle 72.....	55
Alternativa 1 – Sin afectación a infraestructura proyectada PLMB.....	55

Alternativa 2 – Con afectación a infraestructura proyectada PLMB .....	57
7 Reporte de trazado geométrico férreo .....	59
Reporte trazado férreo en planta .....	59
Reporte trazado férreo en perfil.....	63
8 Condicionantes en el proyecto .....	65
9 Tipo de obra subterránea .....	67
Tramo en túnel profundo .....	69
Tramo en Trinchera Cubierta.....	77
Tramo en Trinchera Cubierta cola de maniobras .....	80
Tramo de infraestructura en rampa .....	83
10 Tipo de obra elevada .....	86
Implantación de la estación Elevada .....	94
11 Tipo de vía férrea.....	95
Diseño .....	95
Obras.....	100
Mantenimiento .....	101
Operación .....	103
Síntesis .....	104
Recomendación .....	105
12 Zonas logísticas para las Tuneladoras .....	107
Zona 1: Calle 72 x Carrera 11 .....	108
Zona 2: Calle 72 x Carrera 68 Pk3+800 .....	108
Zona 3: Calle 72 x Av. Boyacá Pk 5+200.....	109
Zona 4: Av. Cali x Calle 80 PK 7+700 .....	110
Zona 5: Av. Cali x Carrera 91 Pk 9+200 .....	110
Zona 6: ALO x calle 130 c PK 11+900 PK 11+900 .....	111
Zona 7: ALO x Transversal 118 Pk 13+300 .....	112
Zonas seleccionadas .....	113
13 Pozos de ventilación .....	114
Ventilación de túnel en línea .....	116

Ventilación Bi Túnel .....	116
Ventilación Túnel único .....	116
Cámaras de ventilación.....	117
14 Diseño de prefactibilidad de las cimentaciones para el viaducto y el patio taller .....	118
Marco geológico .....	119
Exploración del subsuelo. Información secundaria .....	120
Análisis geotécnico .....	124
Anexos: Planos de trazado geométrico .....	126
15 Conclusiones y Recomendaciones.....	128
16 Bibliografía.....	131

## Figuras

Figura 1.1 Esquema Cola de Maniobras .....	2
Figura 1.2 Alternativa de mejor desempeño Calle 72 – Av. Cali – ALO / Subterránea / Línea nueva	4
Figura 1.3 Patio Taller – Predio Fontanar del Rio .....	5
Figura 3.4 - Gálibo estático adoptado .....	15
Figura 3.5 - Gálibo dinámico adoptado en tramos rectos .....	16
Figura 3.6 - Gálibo dinámico adoptado en tramos curvos.....	16
Figura 3.7 - Sección típica tramo bi-túnel.....	17
Figura 3.8 - Detalle túnel vía sencilla .....	18
Figura 3.9 - Detalle túnel entre pantallas en trinchera abierta .....	19
Figura 3.10 - Detalle tablero sistema metro elevado .....	19
Figura 3.11 - Gálibos sistema metro elevado .....	20
Figura 4.12 - Ramal calle 72 del corredor verde CRA7 .....	23
Figura 4.13 - Cola de maniobra e inicio de trazado .....	24
Figura 4.14 - Profundidad de Cola de maniobra SLMB y deprimido proyectado PLMB.....	24
Figura 4.15 - Condiciones generadas por infraestructura PLMB.....	25
Figura 4.16 - Corte túnel bi-tubo bajo deprimido proyectado SLMB .....	26
Figura 4.17 - Transición entre túnel entre pantallas y bi-túnel .....	26
Figura 4.18 - Modelo 3D - Transición entre túnel entre pantallas y bi-túnel .....	27

Figura 4.19 - Sección Vial V2 con sistema metro subterráneo - POT Bogotá.....	28
Figura 4.20 - Corredor vial Existente calle 72- Zonas angostas .....	28
Figura 4.21 - Tramo 1 – perfil vial proyectado tipo V2 - Calle 72 entre Av. Caracas y Av. Ciudad de Cali .....	29
Figura 4.22 - Estación NQS – Empalmes sinuosos .....	30
Figura 4.23 – Paso de túnel bi-tubo en canal Arzobispo. ....	31
Figura 4.24 - Estación Cr 68 – Empalmes sinuosos.....	32
Figura 4.25 - Estación Av. Boyacá – Empalmes sinuosos.....	32
Figura 4.26 - Estación Av. Cali.....	33
Figura 4.27 - Tramo 2 – Av. Cali entre Cl 72 y cl 80 – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017 .....	34
Figura 4.28 - Tramo 2 – Av. Cali entre Cl 72 y Cl 80 dentro de límite de proyecto TransMilenio IDU 1352 de 2017 .....	34
Figura 4.29 - Tramo 3 – Av. Cali entre Cl 80 y Canal Rio Negro .....	35
Figura 4.30 – Paso túnel Bi-tubo por Canal Salitre .....	35
Figura 4.31 - Tramo 3 – Av. Cali entre Cl 80 y Canal Rio Negro – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017 .....	36
Figura 4.32 - Tramo 4 – Av. Cali entre Canal Rio Negro y Cr 91 – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017 .....	37
Figura 4.33 - Tramo 5 (Humedal Juan Amarillo) – Av. Cali entre Cr 91 y Cr 91 – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017 .....	38
Figura 4.34 - Tramo 5 – Av. Cali entre Cr 91 y Cr 104 – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017 .....	38
Figura 4.35 - Tramo 5 – paso por el brazo del Humedal Juan Amarillo .....	39
Figura 4.36 - Tramo 5 – Corte transversal paso por el brazo del Humedal Juan Amarillo .....	39
Figura 4.37 - Tramo 6 – Paso bajo el barrio Nueva Corinto.....	40
Figura 4.38 - Tramo 6 – Barrio nueva Corinto – parque lineal sobre SLMB .....	40
Figura 4.39 - Perfil vial ALO según el Sistema de movilidad - Secciones viales y circuitos de movilidad del POT de Bogotá .....	41
Figura 4.40 - Alternativa 3 – perfil vial proyecto ALO - contrato IDU N° 1475 DE 2017 .....	42
Figura 4.41 - Tramo 7 - Perfil vial ALO SLMB .....	42
Figura 4.42 – Cruce canal Cafam .....	43

Figura 4.43 - Alternativa perfil Tramo 7 – Estructura túnel sobresaliendo 2.0m del terreno existente .....	44
Figura 4.44 - Tramo 7 – Localización estación ALO sur.....	44
Figura 4.45 – Transición entre túnel bi-tubo y túnel en pantallas ALO .....	45
Figura 4.46 - Tramo 7 – Localización estación ALO norte.....	45
Figura 4.47 - Tramo 8 – Perfil vial proyectado V2 – Túnel férreo entre pantallas .....	46
Figura 4.48 - Tramo 8 – Perfil vial existente de 25.0 m de ancho .....	46
Figura 4.49 - Tramo 8 – Perfil vial proyectado V2 – Metro elevado en viaducto.....	47
Figura 4.50 - Zonas con riesgo de inundación alto e intermedio SDP Resolución 1641 de 2020....	48
Figura 4.51 - Transición entre sistemas metro subterráneo y elevado.....	48
Figura 4.52 - Estación No. 11 – Fontanar.....	49
Figura 4.53 - Geometría que restringe la localización de la estación No. 11 .....	50
Figura 4.54 - Acceso a Patio-Taller, Ramal SLMB a Cota y extensión Av. Suba hacia Cota .....	51
Figura 4.55 - Viaducto en Patio-Taller sobre pondaje EAAB existente.....	52
Figura 5.56 - Esquema funcional de línea.....	53
Figura 5.57 - Cola de maniobras .....	54
Figura 6.58 - Alternativa 1 – Geometría de localización estación No. 1 SLMB.....	56
Figura 6.59 Alternativa 1 de localización estación No. 1 SLMB .....	56
Figura 6.60 - Alternativa 2 – Geometría de localización estación No. 1 SLMB con afectación de infraestructura.....	57
Figura 8.61 Aspectos a considerar .....	65
Figura 9.62 Tipos de obras subterráneas.....	67
Figura 9.63 Alternativas túnel.....	68
Figura 9.64 – Plano restrictivo sección túnel-bitubo .....	76
Figura 9.65 Sección típica de un tubo.....	77
Figura 9.66 Metro subterráneo L1-Bogotá .....	79
Figura 9.67 Sección típica de trinchera cubierta .....	80
Figura 9.68 Excavación cola de maniobras .....	82
Figura 9.69 Sección típica de trinchera cubierta cola de maniobra .....	83
Figura 9.70 Transición en “U” .....	84
Figura 9.71 - metro en viaducto .....	85



Figura 9.72 perfil tramo en rampa.....	85
Figura 10.73 sección transversal tipología elevada de la PLMB, opción seleccionada para la línea 2. .....	88
Figura 10.74 vista longitudinal tramo elevado de la PLMB, opción para la línea 2.....	89
Figura 10.75 vista transversal cabezal pila del tramo elevado de la PLMB, opción para línea 2 .....	90
Figura 10.76 vista longitudinal tramo elevado de la PLMB, opción para la línea 2.....	90
Figura 10.77 planta zapata pila simétrica PLMB, opción para línea 2.....	92
Figura 10.78 cortes transversal y longitudinal zapata pila simétrica PLMB, opción para línea 2.....	93
Figura 11.79 – Vía única en placa en el patio taller .....	95
Figura 11.80 – Vía doble en placa en línea .....	96
Figura 11.81 – Vía única sobre balasto en el patio-taller .....	96
Figura 11.82 – Vía doble sobre balasto en línea.....	97
Figura 11.83 – Ejemplo de transición entre la vía en concreto (a la izquierda) y la vía sobre balasto (a la derecha).....	99
Figura 12.84 Ejemplos de zona logística de tuneladora .....	107
Figura 12.85 Opción de ubicación de zona logística No. 1 .....	108
Figura 12.86 Opción de ubicación de zona logística N° 2 .....	109
Figura 12.87 Opción de ubicación de zona logística N° 3 .....	109
Figura 12.88 Opción de ubicación de zona logística N° 4 .....	110
Figura 12.89 Opción de ubicación de zona logística N° 5 .....	111
Figura 12.90 Opción de ubicación de zona logística N° 6 .....	112
Figura 12.91 Opción de ubicación de zona logística N° 7 .....	113
Figura 13.92 Sección típica pozo de ventilación.....	115
Figura 13.93 Casos de figura de flujo de ventilación en función de tipos de operación.....	117
Figura 14.94 Localización de la zona del Patio Taller en la Localidad de Suba. Fuente: IDIGER modificado STEER-EGIS.....	118
Figura 14.95 Geología Local patio taller .....	119
Figura 14.96 Perfil promedio estimado para Zona de Patio Taller .....	121
Figura 14.97 perfil promedio derivado del piezocono .....	122
Figura 14.98. Perfil de resistencia no drenada con la profundidad. Fuente Ingeoriesgos. ....	123

Figura 14.99 Capacidad de carga de pilotes cuadrados (0,4m de lado) y longitud 52m derivada de ensayos de carga.....	125
--	-----

## Tablas

Tabla 2.1 - Fuentes de información .....	6
Tabla 3.2 - Documentos contractuales de referencia.....	9
Tabla 3.3 - Documentos técnicos de referencia .....	10
Tabla 3.4 - Parámetros geométricos en planta .....	11
Tabla 3.5 - Parámetros geométricos en alzado .....	12
Tabla 3.6 - Parámetros funcionales de diseño (Confort).....	13
Tabla 3.7 - Características del material rodante.....	13
Tabla 3.8 - Parámetros recomendados para diseño vial urbano.....	14
Tabla 4.9 - Localización de estaciones SLMB .....	21
Tabla 4.10 - Tipo de sección SLMB y sistema constructivo .....	22
Tabla 4.11 - Tramos perfiles viales típicos proyectados.....	22
Tabla 4.12 - Sectores que requieren afectación predial para implantar perfil vial V2.....	29
Tabla 7.13 - Reporte trazado férreo en planta .....	59
Tabla 7.14 - Reporte trazado férreo en perfil.....	63
Tabla 9.15 Análisis Multicriterio .....	75
Tabla 10.16 - Tipo de sección SLMB y sistema constructivo .....	93
Tabla 11.17 – Estructura de vía en concreto .....	95
Tabla 11.18 – Estructura de vía sobre balasto.....	96
Tabla 11.19 – Espesor y capacidad de carga .....	100
Tabla 11.20 – Comparación entre vía en balasto y vía en concreto.....	104
Tabla 14.21 - Anexo - Planos de trazado geométrico.....	126

## Glosario y abreviaturas

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, o Alcaldía Mayor
- ALO: Avenida Longitudinal de Occidente
- ASF: Alaska Satellite Facility
- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

- Consultoría: Formulación, análisis y priorización de alternativas para la expansión del PLMB-T1, y elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada para la expansión de la PLMB-T1 y su articulación con otros proyectos de transporte de la Región Bogotá – Cundinamarca.
- DAAC: Distributed Active Archive Centers
- DADEP: Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público
- DNP: Departamento Nacional de Planeación
- SDA: Secretaría Distrital de Ambiente, o Autoridad Ambiental
- SDM: Secretaría Distrital de Movilidad, o Autoridad de Transporte
- SDP: Secretaría Distrital de Planeación
- SHD: Secretaría de Hacienda Distrital
- EAAB: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
- EEB: Empresa de Energía de Bogotá
- EMB: Empresa Metro de Bogotá
- Equipo Consultor: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, o Unión Temporal
- FDN: Financiera de Desarrollo Nacional
- ICANH: Instituto Colombiano de Antropología e Historia
- IDPC: Instituto Distrital de Patrimonio Cultural
- IDE: Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito de Bogotá
- IDU: Instituto de Desarrollo Urbano
- MHCP: Ministerio de Hacienda y Crédito Público
- MT: Ministerio de Transporte
- Para referirnos a TransMilenio:
  - La empresa (ente gestor del SITP): TRANSMILENIO S.A. o TMSA
  - El BRT (Sistema): Bus Rapid Transit (Bus de tránsito rápido), o Sistema TransMilenio, o Sistema de Transporte Masivo
- PMMB: Plan Maestro de Movilidad de Bogotá
- PLMB-T1 o PLMB: Primera Línea de Metro de Bogotá
- POT: Plan de Ordenamiento Territorial
- SITP: Sistema Integrado de Transporte Público, o Sistema
- SLMB: Segunda línea del Metro de Bogotá
- TCC: Términos de Condiciones Contractuales – Adenda 5
- UIC: Union Internationale des Chemins de Fer

# 1 Introducción

## Antecedentes

- 1.1 Bogotá como región capital, en aras de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, ha venido trabajando en la transformación de su infraestructura en materia de movilidad para todos los modos de transporte, con el fin de que funcionen perfectamente, mediante una programación y operación unificada. Para el caso del transporte público masivo y como parte de este proceso, se busca tener un Sistema Integrado de Transporte mucho más completo y armonioso que incluya varios tipos de servicios, es así como surge la incorporación del sistema metro como nueva opción de medio de transporte.
- 1.2 Bajo este entendido y enfocados en el marco de la red de transporte masivo, además de materializar el desarrollo de la primera línea de metro de Bogotá (PLMB), se proyecta robustecer dicho sistema identificando y teniendo en cuenta la zona de expansión a priorizar logrando el mayor beneficio para la ciudad.
- 1.3 Por tal razón se estructura la expansión de la Primera Línea de Metro de Bogotá - PLMB –T1 o Segunda Línea de Metro de Bogotá - SLMB, mediante el contrato FDN 033 de 2020 cuyo objeto es “Formulación, análisis y priorización de alternativas para la expansión del PLMB-T1, y elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada para la expansión de la PLMB-T1”.
- 1.4 El contrato 033 de 2020 establece una evaluación multidisciplinaria distribuida en tres (3) fases con diferentes niveles de detalle, que logra la definición de un corredor óptimo a nivel de pre-factibilidad, articulando la operación de la extensión del Sistema Metro con la PLMB y otros proyectos de transporte de la Región Bogotá – Cundinamarca (Regiotram).
- 1.5 En una primera fase o fase uno (1) del contrato 033 de 2020, se realizaron los análisis correspondientes para definir la zona de expansión, la cual arrojó como resultado que la localidad de Suba es la zona o cuenca de la ciudad priorizada hacia donde debería ir la SLMB.
- 1.6 Una vez identificada la Zona de expansión priorizada, se busca conectar la PLMB con la Localidad de Suba, para lo cual se formularon diferentes alternativas de líneas, las cuales fueron desarrolladas en la fase dos (2) de este estudio; es así como se obtiene la línea que discurre en los corredores de la Calle 72, Av. Cali y ALO., como la alternativa de mejor desempeño o mejor calificada mediante una metodología de evaluación por medio de una matriz multicriterio.
- 1.7 Posteriormente se configura el nodo de terminación, mediante la incorporación de diferentes opciones de localización de patio taller y se adelantó igualmente, una evaluación multicriterio para la zona norte del trazado, incluyendo en la evaluación el tramo de la Avenida Longitudinal de Occidente ALO, entre Av. Cali y Av. Suba, el cual arrojó como resultado para el nodo de

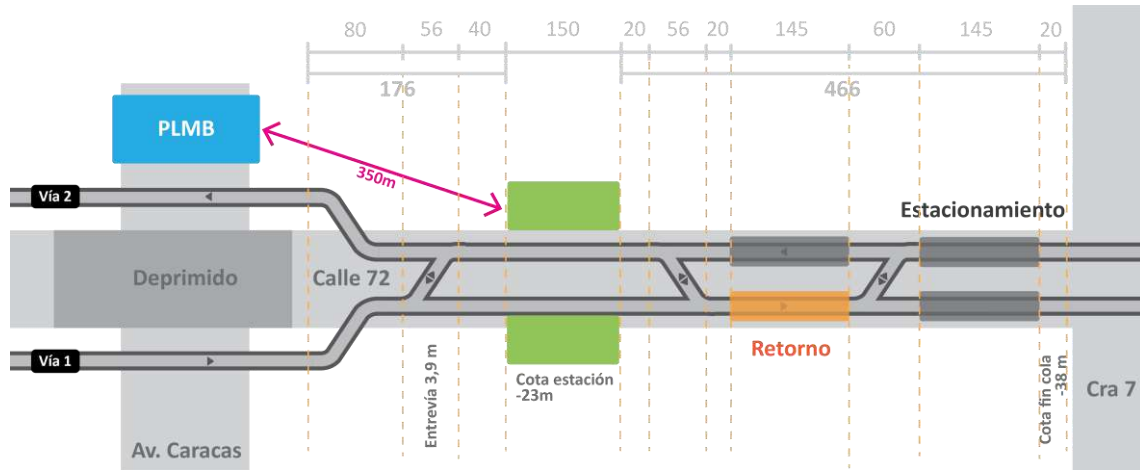
terminación, el proyecto de expansión priorizado (PMLB - T2) con terminación en el polígono denominado “Fontanar del Río”, en el cual se implantará el patio-taller.

- 1.8 Finalmente, en la fase tres (3) del proyecto, se desarrollan los estudios de prefactibilidad técnica para esta alternativa, contenidos en los productos 4,5,6 y 7, definidos en los términos de referencia del contrato, el presente documento contiene el desarrollo del entregable 6 de la SLMB detallada a continuación:

## Descripción de la SLMB

- 1.9 La SLMB, presenta una infraestructura mixta mediante la incorporación de dos (2) tipologías de metro: subterráneo y elevado, con una longitud de 15.8 km aproximadamente. Esta línea, comprende además una cola de maniobras en su extremo oriental, 11 estaciones y un patio taller, discurriendo por los corredores de la Calle 72, Avenida Ciudad de Cali, reserva vial ALO y la extensión de la Avenida Transversal de Suba.
- 1.10 El K0+000 se localiza en la Calle 72 a 60 m al oriente de la Carrera 7, donde se contempla una cola de maniobras en tipología subterránea, la cual alberga la zona para maniobras de retorno con sus respectivos cambiavías y una zona para parqueo con capacidad para albergar tres trenes, todo ello con el fin de permitir una adecuada operación de la SLMB, ver Figura 1.1; después de la cola de maniobras, encontramos la estación No. 1 ubicada en la Calle 72 entre las abscisas K0+466 a la K0+616, estación que servirá de integración con los modos de transporte masivo TransMilenio (estación calle 72) y la Primera Línea de Metro de Bogotá PLMB (Estación 16).

Figura 1.1 Esquema Cola de Maniobras



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

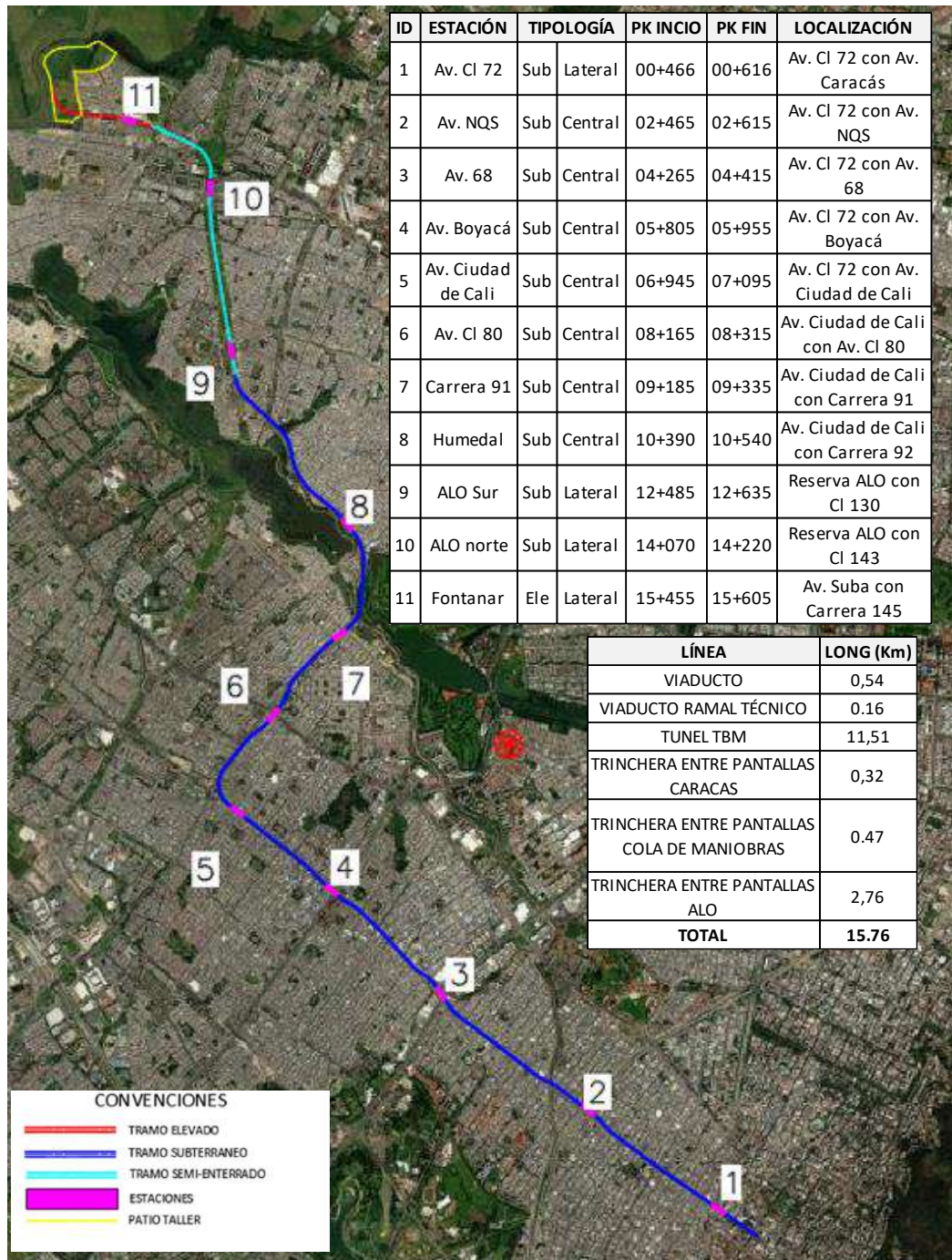
- 1.11 Al occidente de la Avenida Caracas en el corredor de la Calle 72, se proyecta el primer tramo subterráneo de la SLMB mediante la construcción de dos (2) túneles de 7 m de diámetro cada uno, aproximadamente, tipología que continúa hasta llegar a la actual reserva de la ALO.
- 1.12 La estación N° 2 se localiza entre el K2+465 y el K2+615, a la altura de la calle 72 con la Avenida Ciudad de Quito o Carrera 30, estación que tendrá integración con el proyecto de Regiotram Norte y el TransMilenio de la NQS. La estación N° 3 se encuentra localizada entre las abscisas K4+265 al K4+415, a la altura de la intersección de la Calle 72 costado sur con la Avenida 68, estación que

tendrá integración con la futura Estación de la Troncal de TransMilenio de la Av. 68. La estación N° 4 se localiza entre las abscisas K5+805 al K5+955, sobre el mismo costado en el cruce de la Calle 72 con la Avenida Boyacá. La estación N° 5 la última sobre el corredor de la calle 72 se ubica entre las abscisas K6+945 a la K7+095.

- 1.13 Posteriormente, el alineamiento toma dirección norte por el eje de la Avenida Ciudad de Cali o carrera 86, hasta la calle 75 donde toma el costado oriental del corredor para llegar a la estación N° 6 localizada entre las abscisas del K8+165 al K8+315, en inmediaciones del cruce con la Avenida Calle 80, posteriormente por este mismo corredor se llega a la estación N° 7 ubicada entre las abscisas K9+185 al K9+335, a la altura de la calle 90, la estación N° 8) se encuentra ubicada entre el K10+390 al K10+540, al costado norte en la reserva del futuro proyecto de la Troncal TransMilenio de la Avenida Ciudad de Cali a la altura de la carrera 93.
- 1.14 En la Av. Ciudad de Cali a la altura de la carrera 103 se cruza el barrio Nueva Colombia para encontrar la reserva de la ALO. En la reserva de la ALO se cambia el alineamiento vertical, elevando la rasante de la línea para lograr una profundidad aproximada de 7 metros lo que permite modificar el sistema constructivo pasando de excavación con tuneladora a excavación abierta en trinchera.
- 1.15 Sobre la reserva vial de la ALO se localiza la estación N° 9 ubicada entre las abscisas K12+485 al K12+635 a la altura de la calle 130. La estación N° 10) se localiza entre las abscisas K14+070 al K14+220 a la altura de la calle 134 A, en este punto la línea discurre al occidente por la Calle 145 o Transversal de Suba pasando de tipología semienterrada a tipología elevada, a partir de la abscisa K15+060.
- 1.16 La estación N° 11 se localiza entre las abscisas K15+455 al K15+605, esta estación está proyectada con tipo mezzanine con una cota riel aproximada de 9 m sobre el terreno existente, el planteamiento anteriormente descrito, se detalla en la siguiente Figura 1.2:



Figura 1.2 Alternativa de mejor desempeño Calle 72 – Av. Cali – ALO / Subterránea / Línea nueva



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

1.17 Desde la estación 11, la línea discurre elevada hasta llegar a inmediaciones del polígono denominado “Fontanar del Río” destinado para la instalación del patio-taller, cuya localización se detalla en la siguiente Figura 10.73Figura 1.3.

Figura 1.3 Patio Taller – Predio Fontanar del Rio



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



## 2 Alcance

- 2.1 El presente documento contiene el prediseño geométrico del trazado férreo en planta y perfil, el prediseño de vías, predimensionamiento de obras complementarias y la definición estructural del trazado de la línea 2 del Metro de Bogotá (SLMB).
- 2.2 Se exponen y se desarrollan los criterios geométricos de trazado para la Segunda Línea de Metro de Bogotá - SLMB. En la elección de los criterios, se han tenido en cuenta que las condiciones de operación de la futura línea sean óptimas, con una buena integración del trazado con la topografía e infraestructura existente, al igual que la adecuada armonización del proyecto con la infraestructura proyectada por la PLMB, como lo es el deprimido de la Av. Caracas con Calle 72, estación No. 16 y cimentación del viaducto, buscando una solución técnica a estas restricciones generadas por la Línea 1, considerando que la premisa de diseño de la línea 2 es no interferir con las estructuras proyectadas.

### Insumos principales para la elaboración del trazado

- 2.3 A continuación, se indican los insumos o datos geográficos y anexos usados para el desarrollo del diseño de prefactibilidad del trazado férreo, tales como:

Tabla 2.1 - Fuentes de información

TIPO DE INFORMACIÓN	FUENTE
ORTOFOTO	<p>Ortoimagen. Bogotá D.C. 2014 Este servicio web contiene información sobre el ortofotomosaico digital elaborado el año 2014. Entidad: Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito de Bogotá ( IDE) Fecha de actualización del contenido 08/08/2014 Fuente Mapas Bogotá Licencia Restringida</p>
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN	<p>Modelo Digital de Terreno. Bogotá D.C. 2014 Entidad: La IDE de Bogotá Fecha de actualización del contenido 08/08/2014 Fuente Datos Abiertos Bogotá Licencia CC BY 4.0 <a href="https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/modelo-digital-de-terreno-bogota-dc-2014">https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/modelo-digital-de-terreno-bogota-dc-2014</a></p> <p>Conjunto de datos: ASF DAAC 2015, ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_low_res; Incluye material © JAXA / METI 2007. Consultado a través de ASF DAAC el 11 de noviembre de 2015. DOI: <a href="https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF">https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF</a></p>
	<p>Mapa de Referencia para Bogotá D.C.</p> <p>Puentes</p>

TIPO DE INFORMACIÓN	FUENTE	
<b>DATOS VECTORIALES</b>	Mapa de Referencia es el resultado del trabajo conjunto entre las entidades de: Secretaría Distrital de Planeación, Secretaría Distrital de Movilidad, Instituto de Desarrollo Urbano, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P., Transmilenio S.A., Servicios Postales Nacionales S.A. 4-72 y la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD) quienes tienen la responsabilidad de producir y/o custodiar los datos fundamentales de nuestra ciudad. Entidad: IDE de Bogotá Fecha de actualización del contenido 31/12/2020 Fuente Datos Abiertos Bogotá Licencia CC BY 4.0 La IDE de Bogotá D.C. Publicado 28-03-2021 SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE SDA	Anden
		Cuerpo Agua
		Calzada
		Ciclorruta
		Construcciones
		Lote
		Manzanas
		Separador
		Parque Urbano
		Áreas Protegidas
		Corredor Ecológico de la Ronda
		Cuenca alta rio Bogotá
		Franja de adecuación
		RFP Thomas Van Der Hammen
Ronda Hidráulica		
ZMPA		

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- Los planos de detalle de los siguientes proyectos relacionados y sus fechas de construcción:
  - PLMB: ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTA (PLMB) CRITERIO DE DISEÑO GEOMÉTRICO DEL SISTEMA METRO
  - TransMilenio Cr 68: CONTRATO No. 0351 de 2020 cuyo objeto es "CONSTRUCCIÓN PARA LA ADECUACIÓN AL SISTEMA TRANSMILENIO DE LA AVENIDA CONGRESO EUCARÍSTICO (CARRERA 68) DESDE LA CARRERA 9 HASTA LA AUTOPISTA SUR Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN BOGOTA, D.C. GRUPO 7" – Resultado de la Fase de apropiación de Estudios y Diseños.
  - TransMilenio Av. Cali: CONTRATO IDU 1352 DE 2017 cuyo objeto es "FACTIBILIDAD Y ACTUALIZACIÓN, COMPLEMENTACIÓN, AJUSTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS, Y ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA AMPLIACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA AVENIDA CIUDAD DE CALI AL SISTEMA TRANSMILENIO, ENTRE LA AVENIDA CIRCUNVALAR DEL SUR Y LA AVENIDA CALLE 170 Y DE LOS EQUIPAMIENTOS URBANOS COMPLEMENTARIOS, EN BOGOTÁ D.C."
  - ALO: CONTRATO IDU 1475 DE 2017 cuyo objeto es "ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA TRONCAL CENTENARIO DESDE EL LÍMITE OCCIDENTE DEL DISTRITO HASTA LA TRONCAL AMÉRICAS CON CARRERA 50, Y DE LA AVENIDA LONGITUDINAL DE OCCIDENTE, RAMAL AV. VILLAVICENCIO HASTA LA AV. CALI Y RAMAL AV. AMÉRICAS HASTA LA AV. CALI EN BOGOTÁ D.C."
  - Corredor verde Cr 7: Contrato IDU-CMA-SGDU-048-2020 cuyo objeto es "ACTUALIZACIÓN, COMPLEMENTACIÓN, AJUSTES DE LOS EYD EXISTENTES, Y/O ELABORACIÓN DE LOS EYD,

DEL CORREDOR VERDE DE CRA7 DESDE CLL32 A CLL93A, RAMAL DE LA CLL72 ENTRE CRA7 Y CRA13 Y OBRAS COMPLEMENTARIAS”

- Regiotram del Norte: Contrato FDN 016 de 2020 cuyo objeto es “CONTRATAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS A NIVEL DE FACTIBILIDAD PARA LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA, LEGAL, FINANCIERA Y DE EQUIDAD DE GÉNERO E INCLUSIÓN SOCIAL DE UN TREN DE CARGA Y PASAJEROS ENTRE BOGOTÁ Y ZIPAQUIRÁ”

2.4 Además, se deben añadir los principales parámetros que estructuran el Proyecto, tales como:

- El plano de la línea (con la posición de las estaciones);
- El posicionamiento del patio taller;
- El tipo de material rodante;
- Las posiciones y las configuraciones de los cambia-vías, desvíos y/o breteles (definidos por el esquema de operación);
- La posición y la configuración de las vías de parqueo (número de trenes que hay que aparcar), de las vías de retorno, y de las vías terminales (datos de operación);
- La longitud de los andenes o plataformas (dados por el material rodante y la señalización);
- La distancia entre ejes de vía (dada por las secciones de las estructuras tipo de obra civil, depende del material rodante);
- La cota del riel en los tramos entre estaciones y en estación (dada por las secciones de las estructuras tipo de obra civil);

2.5 Esta información se encuentra desarrollada en los diferentes productos objeto de la presente consultoría.

## 3 Criterios de Diseño Geométrico del trazado de la línea metro

3.1 En el presente apartado se presentan las hipótesis de diseño del trazado en planta y perfil longitudinal considerados para el Proyecto en la fase actual de diseños de prefactibilidad.

### Marco reglamentario y normativo

3.2 El diseño geométrico del trazado de la línea se lleva a cabo conforme a los términos de referencia del presente contrato (Ver Tabla 3.2) y a la siguiente normativa (normas, códigos y/o reglamentos) internacional (Ver Tabla 3.3).

Tabla 3.2 - Documentos contractuales de referencia

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
Contrato FDN 033 de 2020 cuyo objeto es “Formulación, análisis y priorización de alternativas para la expansión del PLMB-T1, y elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada para la expansión de la PLMB-T1”	Alcance detallado del proyecto de prefactibilidad.
Términos de condiciones contractuales (“TCC”) – Adenda 5	Formulación, análisis y priorización de alternativas para la expansión del PLMB-T1, y elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada para la expansión de la PLMB-T1 y su articulación con otros proyectos de transporte de la región Bogotá – Cundinamarca
ANEXO 6 -Especificaciones Técnicas – Adenda 1	Alcance detallado de cada fase propuesta, junto con sus respectivos productos y entregables.
ANEXO 10 – Apéndices técnicos sistemas ferroviarios	Apéndice Técnico 7 - Material Rodante - 20191108 Definitivo Apéndice Técnico 8 - Sección 1 - Sistemas de control y supervisión - 20191108 Definitivo Apéndice Técnico 8 - Sección 2 – Sistemas de alimentación de energía eléctrica - 20191108 Definitivo Apéndice Técnico 8 - Sección 3 – Señalización y control de trenes - 20191108 Definitivo Apéndice Técnico 8 - Sección 4 – Sistemas de puertas y de andén y plataformas - 20191108 Definitivo Apéndice Técnico 8 - Sección 5 – Sistemas de telecomunicaciones - 20191108 Definitivo

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
	<p>Apéndice Técnico 8 - Sección 6 – Sistemas de radiocomunicación - 20191108 Definitivo</p> <p>Apéndice Técnico 8 –Sección 7 - Sistema de Peaje - 20191108 Definitivo</p> <p>Apéndice Técnico 8 - Sección 8 – Equipos de patio taller - 20191108 Definitivo</p> <p>Apéndice Técnico 10 - Operación y Mantenimiento 20191112 Definitivo</p>
Plan de trabajo V2 UT Egis Steer	<p>Contiene la metodología general que se implementará en cada fase y la relación entre las diferentes actividades y etapas del proyecto. Las actividades por desarrollar incluyen lo definido en los estudios previos y en los términos de referencia del proceso contractual base de la presente consultoría.</p>

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Tabla 3.3 - Documentos técnicos de referencia**

TIPO	REFERENCIA / NORMA TECNICA	TITULO	ALCANCE
Código	UIC 703 R	Características de trazado de vías recorridas por trenes de pasajeros rápidos	Especificación de vía férrea
Norma	EN 13803-1	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetros de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1435 mm y mayores. Parte 1: Plena vía	Especificación de vía férrea
Norma	EN 13803-2	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetros de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1435 mm y mayores. Parte 2: Aparatos de vía y situaciones comparables de proyecto del trazado con variaciones bruscas de curvatura	Especificación de vía férrea
Referencia normativa	IN 0162	Disposición de obstáculos en relación con vías y entre vías para velocidades inferiores a 200 km/h o 220 km/h	Especificación de vía férrea
Norma	AASHTO 2018	Diseño geométrico de autopistas y calles	Especificación de vía para tráfico mixto
Referencia normativa	Guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C.	Diseño de vías urbanas para Bogotá D.C.	Especificación de vía para tráfico mixto
Manual de diseño de carreteras de Colombia	Manual de diseño geométrico de carreteras 2008	Manual de diseño geométrico de carreteras	Especificación de vía para tráfico mixto

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 3.3 El diseño geométrico ferroviario contempla el uso de estas normas y se adaptan de la mejor manera según el contexto en el que se desarrolla el trazado involucrando la inserción urbana, localización y distancia entre estaciones, proyectos en desarrollo, condiciones de drenaje, afectación predial, método constructivo, entre otros; lo anterior, permite utilizar valores límites de ciertos parámetros, como la variación de la rampa del peralte o las pendientes longitudinales, con el fin de optimizar la operación de la línea, en particular en las curvas de radio reducido que limitan la velocidad de diseño en la que puede transitar el material rodante.

### Velocidad de diseño

- 3.4 La velocidad de diseño del proyecto metro es de 90 km/h.

### Parámetros geométricos en planta sistema metro

- 3.5 Los parámetros de diseño del trazado en planta se presentan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 - Parámetros geométricos en planta

Parámetro	Valores recomendados	Valores excepcionales
Ancho de vía	1435 mm	
Radio mínimo en planta (vías comerciales)	400 m (*)	240 m (*)
Radio mínimo en estación	Recta	
Longitud mínima elemento (recta, curva, clotoide)	20 m	
Longitud mínima de andén en estación	150 m	
Longitud mínima de alineación restante en estación	180 m	150 m
Inter-eje mínimo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Túnel entre pantallas o viaducto 3.50 m en recta y radios <math>R &gt; 900m</math> 3.71m en radios <math>\leq 900m</math> (**)</li> <li>• Bitubo 14m</li> </ul>	
Velocidad máxima de operación en vías comerciales (V)	90 km/h	
Peralte máximo (D)	140 mm	
Insuficiencia máxima de peralte (I)	100 mm	
Aceleración transversal no compensada (máxima)	0.65 m/s <sup>2</sup>	
Variación máxima del peralte con el tiempo	50 mm/s	
Variación máxima de la insuficiencia de peralte con el tiempo	60 mm/s	
Variación máxima del peralte (alabeo)	180/V $\leq 2$ mm/m	180/V $\leq 2.5$ mm/m
Curva de transición	Clotoide	

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 3.6 (\*) Aplicando estos valores, se obtiene un valor recomendado de radio mínimo de 400 m para una velocidad de 90 km/h, según el siguiente cálculo:

$$R \text{ mínimo} = [(11.8/(D + I)]V^2$$

Siendo D=140mm, I=100mm y V=90 km/h

- 3.7 Lo que resulta un radio mínimo de 398m, redondeado a 400 m.
- 3.8 De forma inversa, se obtiene que el material rodante puede circular a una velocidad de 69.87 Km/h o aproximando a 70 Km/h con un radio de 240 m, aplicando la siguiente formula:

$$V = \sqrt{\frac{R * (D + I)}{11.8}}$$

- 3.9 Excepcionalmente, el valor del radio mínimo puede ser reducido hasta 200m en la línea principal en túnel, ya que este es el radio de trabajo de las tuneladoras, generando mayores restricciones de velocidad. Sin embargo, el radio mínimo utilizado en el trazado actual durante esta fase de estudio es de 240 m, buscando mayor explotación.
- 3.10 (\*\*) La transición del intereje se da en las curvas de transición, espirales o clotoides.

## Parámetros geométricos en alzado sistema metro

- 3.11 Los parámetros de diseño del trazado en alzado se presentan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 - Parámetros geométricos en alzado

Parámetro	Valores recomendados	Valores excepcionales
Pendiente longitudinal máxima en línea	2 %	4 % (*)
Pendiente longitudinal mínima en línea	0.20 %	
Pendiente longitudinal máxima en estación	Horizontal (0%)	
Acuerdo mínimo (R)	3125 m (**)	1000 m
Longitud mínima elemento (rasante uniforme, acuerdo)	20 m	
Aceleración vertical máxima (a)	0.20 m/s <sup>2</sup>	
Gradiente equivalente	G + 800/R	
Pendiente longitudinal máxima en posición de parqueo	0 %	0.50 %
Pendiente longitudinal máxima en Patio Taller	0.10 %	0.50 %

Nota: \* Pendiente longitudinal máxima utilizada es 4 %

\*\*Aplicando la  $R = \frac{V^2}{a * 12.96}$  con una V=90 Km/h se obtiene un acuerdo de 3125 m

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 3.12 El valor mínimo de 20 m de los elementos de geometría y, en consecuencia, es la longitud mínima de los acuerdos verticales, de modo que se garantice que ningún material rodante, en su composición, esté inscrito al mismo tiempo en dos acuerdos verticales o en dos rasantes uniformes con distinta pendiente.

## Parámetros funcionales de diseño sistema metro (Confort)

- 3.13 Los parámetros funcionales de trazado que medirán el confort del usuario serán los reflejados en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 - Parámetros funcionales de diseño (Confort)

Parámetro	Valores
Velocidad Máxima	90 Km/h
Máxima insuficiencia de peralte IMáx (mm)	100 mm
Aceleración no compensada asc Máx ( $m/s^2$ )	0.65 $m/s^2$
Máxima variación del peralte con el tiempo [dD/dt] Máx (mm/s)	50 mm
Máxima variación ángulo giro de la vía [d $\theta$ /dt] Máx (rad/s)	0.03 rad/s
Máxima variación de la insuficiencia con el tiempo [dl/dt] Máx (mm/s)	50 mm/s
Máxima variación aceleración no compensada con el tiempo ( $m/s^3$ ) – Jerk.	0.40 $m/s^3$
Variación de peralte máximo [dD/dl] Máx (mm/m)	2 mm/m
Máxima aceleración vertical av Máx ( $m/s^2$ )	0,20 $m/s^2$

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Características del material rodante

- 3.14 Las características del material rodante para el presente estudio preliminar se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 - Características del material rodante

Parámetro	Valores
Longitud total máxima del Tren (6 o 7 Coches)	145 m
Ancho mínimo del Tren	2.90 m
Altura máxima desde la cabeza del riel al techo del Tren	3.90 m
Altura desde la cabeza del riel al piso del Tren	1100 mm +50/-0
Ancho de vía normal	1435 mm +4 mm/-3 mm
Radio mínimo horizontal en la línea	200 m
Radio mínimo horizontal en los talleres	100 m
Radio mínimo vertical en la vía y en los talleres	1000 m
Peralte máximo	140 mm
Aceleración centrífuga máxima no compensada por peralte	0,65 $m/s^2$
Distancia entre eje de vías (recta) para viaducto o tubo único	3500mm – Radios mayores a 900m)



Parámetro	Valores
Distancia entre eje de vías (curvas) para viaducto o tubo único	3710mm (Radio menor a 900m)
Lámina de aire sobre el gálibo dinámico	Mínimo 150 mm

Fuente: ANEXO 10 – TDR - Apéndice Técnico 7 - Material Rodante - 20191108 Definitivo y Producto 6 - Entregable 9 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias | Informe de Sistemas y Operación

- 3.15 Estos valores se han justificado con base al ANEXO 10 - Apéndice Técnico 7 - Material Rodante - 20191108 Definitivo y Producto 6 - Entregable 9 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias | Informe de Sistemas y Operación, donde se ha llevado a cabo una evaluación de las características dimensionales y de capacidad del material rodante.

### Parámetros recomendados para el diseño vial urbano

- 3.16 En etapas futuras, para el diseño de vías urbanas de los corredores por los cuales discurre la SLMB, se recomienda el uso de los siguientes parámetros de diseño geométrico:

Tabla 3.8 - Parámetros recomendados para diseño vial urbano

Parámetro	Valores
Velocidad de diseño máxima	60 Km/h
Radio mínimo	135 m
Peralte máximo	4.0%
Peralte Mínimo – Bombeo Normal	2.0%
Longitud mínima de la espiral para radio mínimo	33 m
Longitud mínimo del arco circular	33.33m
Pendiente Longitudinal Mínima	0.3%
Pendiente Longitudinal Máxima	6.0%
Curva vertical mínima	36 m
Ancho de Carril BRT	3.5 m
Ancho de Carril tráfico mixto	3.25 m
Ancho Tachón	0.25 m

Notas:

La velocidad de diseño deberá ser analizada en etapas futuras, basados en estudios de tránsito dedicados para estos corredores viales. En caso de que esta velocidad de diseño cambie, es necesario establecer nuevos parámetros de diseño geométrico.

El vehículo de diseño deberá ser establecido basado en estudios de tránsito que se desarrollen en etapas futuras del proyecto.

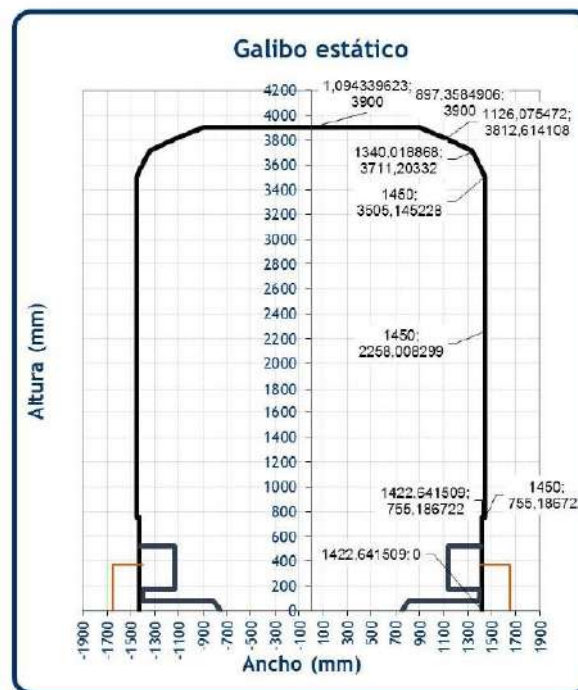
Es necesario que se verifique la vigencia de las normas usadas en las fases siguientes de diseño vial.

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Gálidos

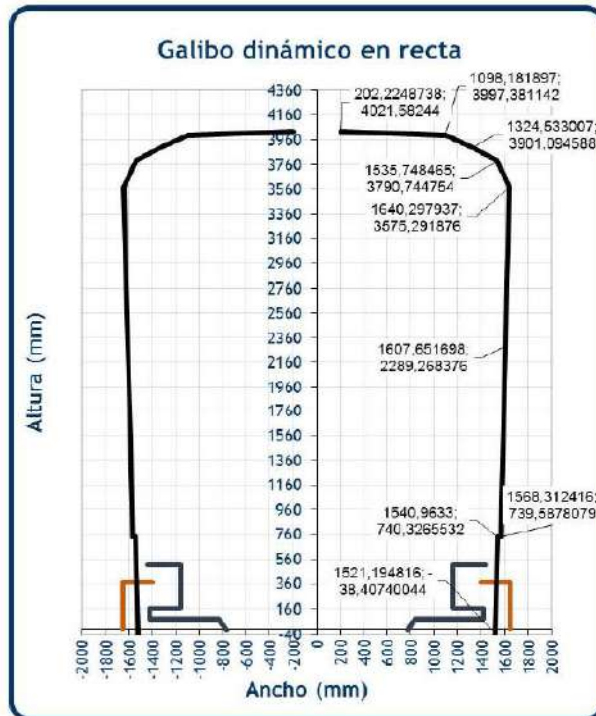
- 3.17 Considerando que el material rodante adoptado para el proyecto SLMB conserva las mismas características que el material rodante usado en la PLMB, los gálidos a considerar se indican en el documento ANEXO 10 – TDR - Apéndice Técnico 7 - Material Rodante - 20191108 Definitivo, documento ETPLMB ET05 L00 ITE F 0001-R0 del proyecto PLMB y Producto 6 - Entregable 9 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias | Informe de Sistemas y Operación, que define los criterios de concepción del material rodante. En todo caso, en las siguientes etapas del proyecto será necesario validar la información presentada.
- 3.18 Las condiciones analizadas son para los gálidos estático (Ver Figura 3.4) y dinámico (Ver Figura 3.5 y Figura 3.6), para tramos rectos y curvos de la línea.
- 3.19 Para el gálido dinámico del tren en curva se ha tomado en cuenta:
- Radio mínimo: 315m;
  - Velocidad: 80km/h;
  - Peralte: 140 mm.

Figura 3.4 - Gálido estático adoptado



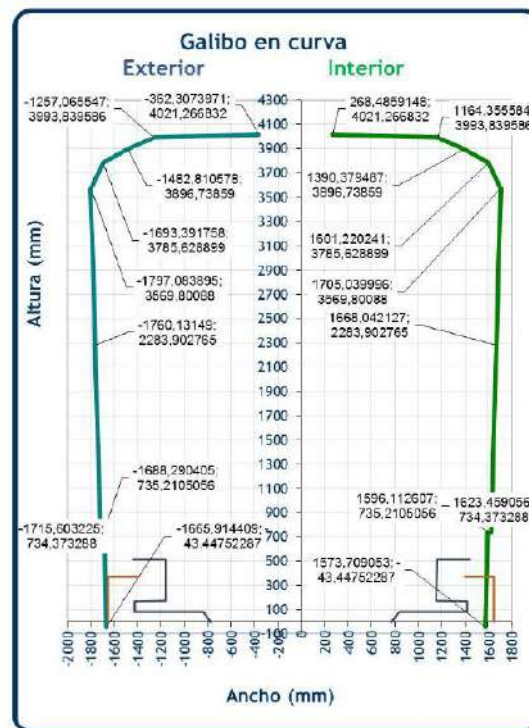
Fuente: documento ETPLMB ET05 L00 ITE F 0001-R0 del proyecto PLMB

Figura 3.5 - Gálibo dinámico adoptado en tramos rectos



Fuente: documento ETPLMB ET05 L00 ITE F 0001-R0 del proyecto PLMB

Figura 3.6 - Gálibo dinámico adoptado en tramos curvos



Fuente: documento ETPLMB ET05 L00 ITE F 0001-R0 del proyecto PLMB

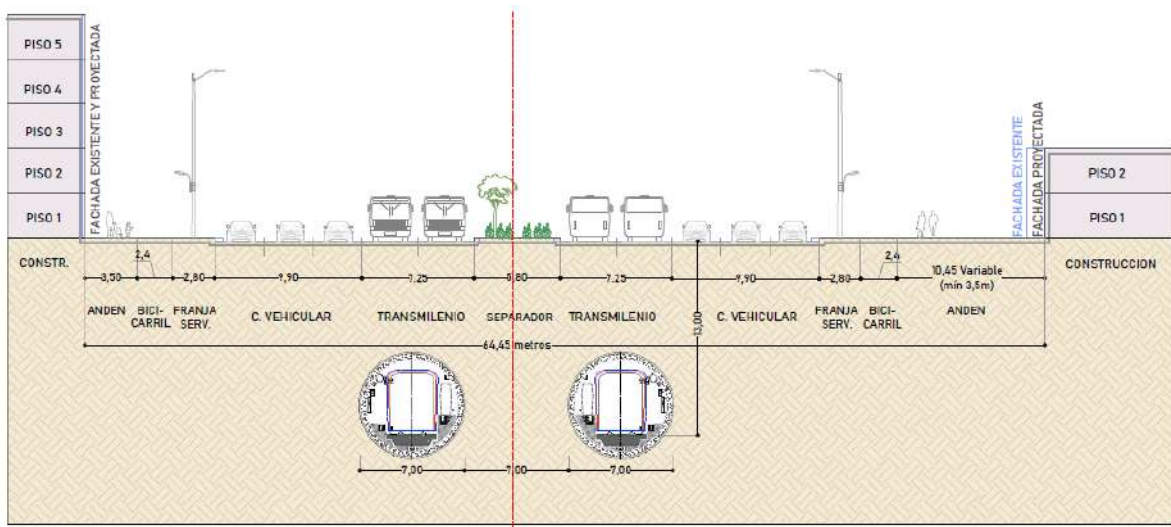
## Secciones tipo

Las secciones tipo empleadas en el diseño de la SLMB son las siguientes:

### Tramo en Bi-Túnel con Tunnel Boring Machine - TBM

- 3.20 En los tramos de línea proyectada con TBM se considera dos túneles, uno para cada vía, con un radio interior de 3.085 m y un espesor de pared de 0.425 m (se prevé que 0.3 m corresponden al espesor de los elementos prefabricados y el resto en recubrimientos y acabados internos de los túneles), para un diámetro de estructura aproximado de 7m, con una separación de 7m entre caras externas de los tubos.
- 3.21 La profundidad a la que se encuentra cada túnel es de 7m al lomo de la estructura (1 vez el diámetro del túnel) y 13m a la cota riel, que corresponde a una vez el diámetro más el posicionamiento de los rieles dentro del túnel para garantizar el tránsito del material rodante y el espacio para gálibos verticales, láminas de aire y los equipos necesarios para un proyecto metro. Las cotas señaladas se miden desde la rasante existente y/o proyectada por proyectos en desarrollo.
- 3.22 Los 7m de recubrimiento de túnel, corresponden a una vez su diámetro, para garantizar que el terreno presente un comportamiento estable durante la construcción con TBM; en todo caso, estas profundidades de recubrimiento deberán ser detalladas en etapas futuras basados en información proveniente de exploraciones geotecnicas especializadas. De la misma manera, la cota riel se encuentra a una profundidad.

Figura 3.7 - Sección típica tramo bi-túnel

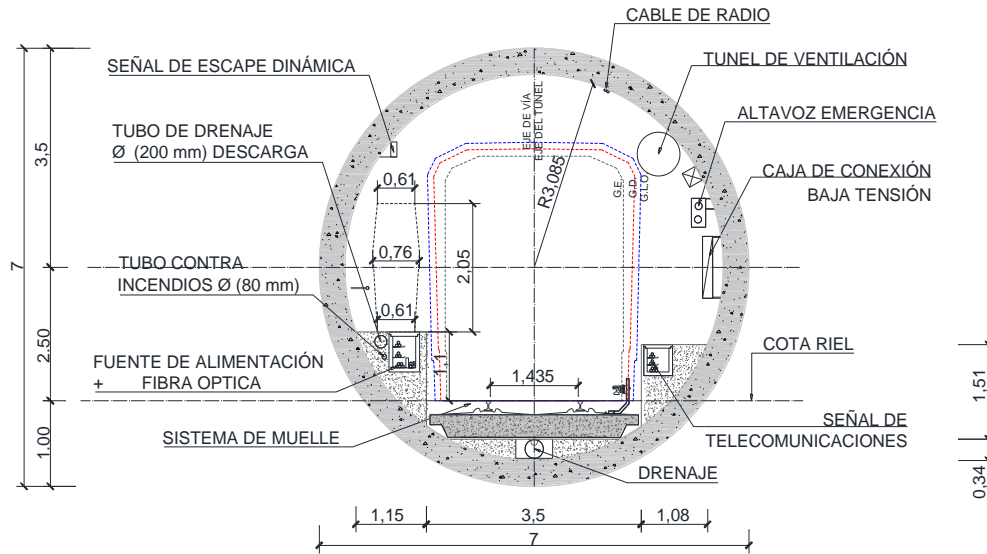


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 3.23 El túnel está dotado con todas las instalaciones necesarias para su buen funcionamiento, instalaciones para evacuación y protección contra incendios, ventilación, instalación eléctrica,

alumbrado, entre otras. Se construirán salidas de emergencias entre las estaciones a lo largo de toda la línea férrea para conseguir una segura evacuación de las personas (Ver Figura 3.8).

**Figura 3.8 - Detalle túnel vía sencilla**



**SECCIÓN TIPO BI-TUNEL RECTA:**

**NOTAS:**

- G.E. (GÁLIBO ESTÁTICO)
- G.D. (GÁLIBO DINÁMICO)
- G.L.O. (GÁLIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 3.24 Para el drenaje del túnel se proyecta un ducto longitudinal que recibirá los aportes de los drenajes transversales. En las estaciones, salidas de emergencia o puntos bajos del trazado vertical se disponen sistemas de bombas para evacuar el agua al sistema de alcantarillado existente en la ciudad.

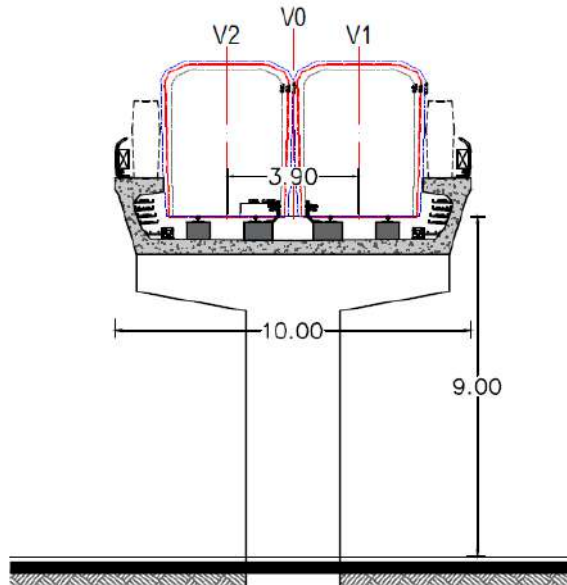
**Tramo en túnel entre pantallas**

- 3.25 En los tramos de línea proyectada con pantallas se considera un único túnel para doble vía, el cual aplica para el tramo de túnel sobre el corredor de la ALO; así como en la cola de maniobras y sector entre estación No. 1 y deprimido proyectado de la PLMB. El ancho de la sección será de 10.4 m y una cota riel de 6 m respecto al nivel de terreno existente, conservando un gálibo vertical de 5m en el tramo de la ALO y en la cola de maniobra la cota riel se desarrolla a una profundidad que varía desde 23m y 38m de profundidad respecto al terreno existente. Estas dimensiones deberán ser verificadas y/o detalladas en etapas posteriores del proyecto (Ver Figura 3.9).



- 3.27 En el tramo elevado, se contempla una cota riel de 9m sobre el nivel de terreno existente, garantizando un gálibo vertical de 5.50m para el tráfico automotor que transita bajo la estructura metro.

**Figura 3.11 - Gálibos sistema metro elevado**



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



## 4 Descripción del trazado

- 4.1 A continuación, se adelanta la descripción del trazado de la SLMB, desde su inicio en la Calle 72 a 60 m al oriente de la Carrera 7, hasta su terminación en el Patio-Taller localizado en la Av. Suba con carrera 147 en el predio Fontanar del Río, por medio de un trazado férreo de 15.8 Km de longitud. A lo largo de este trazado, se contemplan la inserción de 11 estaciones de pasajeros, tres tipologías de estructuras férreas diferentes (túnel entre pantallas, túnel bi-tubo y viaducto) y nueve tramos cuyos perfiles viales típicos reflejan el tratamiento propuesto en superficie.
- 4.2 De las once (11) estaciones, siete (7) de ellas contemplan plataforma central y el resto con plataformas laterales, siendo la mayor parte de tipo intermodal, al permitir la conexión con otros sistemas de transporte masivo como Metro Línea 1, TransMilenio, Regiotram Norte, estaciones de autobuses del sistema integrado de transporte SITP, bicicletas, etc.
- 4.3 En la Tabla 4.9 se describen las estaciones previstas en el trazado de la SLMB. Para obtener más información sobre las diferentes tipologías y características, consultar el informe de estaciones correspondiente al PRODUCTO 4 - Entregable 6\_Tipología e Inserción de Estaciones.

Tabla 4.9 - Localización de estaciones SLMB

ID	ESTACIÓN	TIPOLOGÍA	PLATAFORMA	PK INICIO	PK FIN	LOCALIZACIÓN
1	Av. Cl 72	Subterránea	Lateral	00+466	00+616	Av. Cl 72 con Av. Caracas
2	Av. NQS	Subterránea	Central	02+465	02+615	Av. Cl 72 con Av. NQS
3	Av. 68	Subterránea	Central	04+265	04+415	Av. Cl 72 con Av. 68
4	Av. Boyacá	Subterránea	Central	05+805	05+955	Av. Cl 72 con Av. Boyacá
5	Av. Ciudad de Cali	Subterránea	Central	06+945	07+095	Av. Cl 72 con Av. Ciudad de Cali
6	Av. Cl 80	Subterránea	Central	08+165	08+315	Av. Ciudad de Cali con Av. Cl 80
7	Carrera 91	Subterránea	Central	09+185	09+335	Av. Ciudad de Cali con Carrera 91
8	Humedal	Subterránea	Central	10+390	10+540	Av. Ciudad de Cali con Carrera 92
9	ALO Sur	Subterránea	Lateral	12+485	12+635	Reserva ALO con Cl 130
10	ALO norte	Subterránea	Lateral	14+070	14+220	Reserva ALO con Cl 143
11	Fontanar	Elevada	Lateral	15+455	15+605	Av. Suba con Carrera 145

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



4.4 Así mismo, en la Tabla 4.10 se presenta la localización del tipo de sección metro y su respectivo método constructivo.

**Tabla 4.10 - Tipo de sección SLMB y sistema constructivo**

PK INICIO	PK FIN	TIPO SECCIÓN METRO	MÉTODO CONSTRUCTIVO
00+000	00+791	Túnel entre pantallas	Trinchera cubierta
00+791	12+291	Túnel bi-tubo	TBM
12+291	15+056	Túnel entre pantallas	Trinchera cubierta superficial
15+056	15+760	Viaducto	Vanos prefabricados

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.5 Además, en la Tabla 4.11 se consignan los tramos de perfiles viales típicos implementados a lo largo del trazado férreo, los cuales se pueden ver en los planos RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-01/14, donde se muestra de forma esquemática la implantación de los perfiles viales en planta.

**Tabla 4.11 - Tramos perfiles viales típicos proyectados**

TRAMO	CORREDOR	INICIO	FIN	PERFIL VIA	ANCHO (m)
Corredor verde	Calle 72	Carrera 7	Av. Caracas	V2	42.0
1	Calle 72	Av. Caracas	Av. Ciudad de Cali	V2	37.2
2	Av. Ciudad de Cali	Calle 72	Calle 80	V2	65.0
3	Av. Ciudad de Cali	Calle 80	Canal Rio Negro	V2	65.0
4	Av. Ciudad de Cali	Canal Rio Negro	Carrera 91	V2	65.0
5	Av. Ciudad de Cali	Carrera 91	Carrera 104	V2	65.0
6	Conexión Cali-ALO	Av. Ciudad	Reserva ALO	N/A	25
7	Reserva ALO	Calle 128	Calle 145 (Av. Suba)	V2	70-100
8	Calle 145 (Av. Suba)	Reserva ALO	Carrera 136a	V2	27.2
9	Calle 145 (Av. Suba)	Carrera 136a	Patio - Taller	V2	52.2

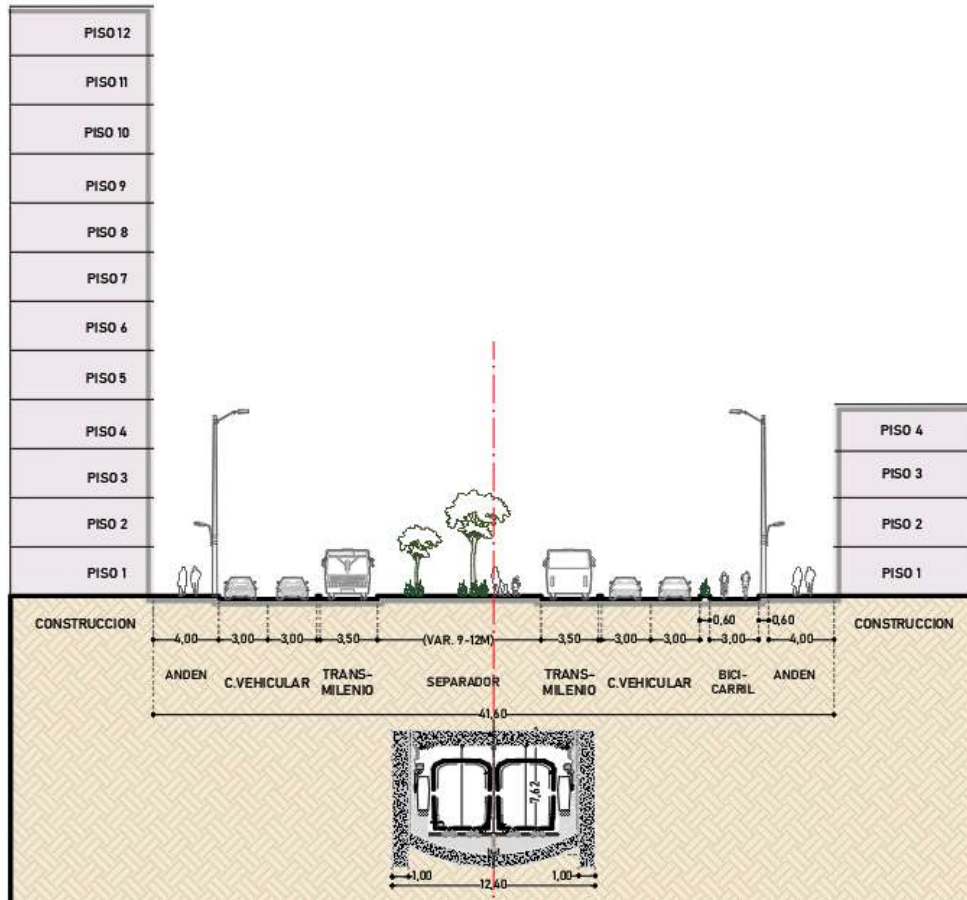
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.6 En los siguientes numerales, se realiza una descripción detallada de las soluciones técnicas adoptadas en el proyecto, como lo es la tipología Metro, la localización de las estaciones, condicionantes al trazado y los perfiles viales propuestos.

## Corredor verde Carrera 7

- 4.7 En el marco del contrato IDU-CMA-SGDU-048-2020<sup>1</sup>, se adelantó el diseño del tramo de la calle 72 ente Carrera 7 y Carrera 13, con un perfil vial proyectado V2 de 42.0m ancho aproximado (Ver Figura 4.12). Este perfil vial contempla un separador variable entre 9m y 12m, dos calzadas con dos carriles para vehículos mixtos de 3.0m y un carril para TransMilenio de 3.5m, franjas de aislamiento de 0.6m y andenes con 4.0m de ancho mínimo, el cual se empalma al diseño vial planteado por el proyecto de la PLMB.

Figura 4.12 - Ramal calle 72 del corredor verde CRA7



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.8 Respecto a la Segunda Línea de Metro de Bogotá - SLMB, esta tiene su origen al oriente de la carrera 7; punto en el cual inicia la cola de maniobras, con una longitud de 466m, dando paso a la estación 1 – “Caracas”, con una distancia de conexión intermodal de 330m con la estación terminal o número 16 de la PLMB, producto de la necesidad de no afectar el deprimido proyectado por la

<sup>1</sup> Contrato IDU-CMA-SGDU-048-2020 cuyo objeto es “Actualización, complementación, ajustes de los EYD existentes, y/o elaboración de los EYD, del corredor verde de CRA7 desde CII32 a CLL93A, ramal de la CLL72 entre CRA7 y CRA13 y obras complementarias”

línea 1. En este tramo, la SLMB comparte corredor vial con el perfil vial adoptado por el ramal del corredor Verde de la carrera séptima.

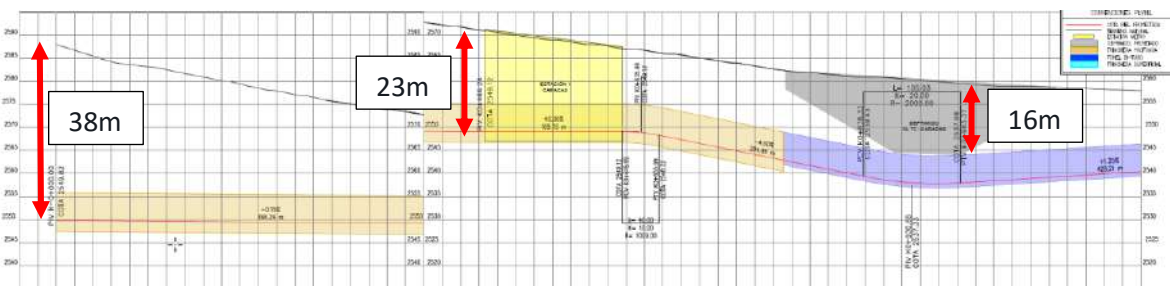
Figura 4.13 - Cola de maniobra e inicio de trazado



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.9 Además, la sección del sistema férreo se propone como un túnel entre pantallas (Ver Figura 4.14), construido mediante trinchera abierta, donde se incluye la cola de maniobras y el tramo de túnel entre la estación No. 1 y el deprimido proyectado; el planteamiento de túnel entre pantallas y el método constructivo puede ser evaluado y/o replanteado en etapas futuras del proyecto, una vez se cuente con mayor información de proyectos en desarrollo en el sector por parte de la Alcaldía de Bogotá.
- 4.10 No obstante, este método constructivo fue seleccionado considerando que fue la mejor alternativa encontrada para no afectar el deprimido proyectado y la estación No. 16 de la SLMB; en consecuencia de esto, el túnel bi-tubo se diseña de modo tal que pase bajo las pantallas de la infraestructura vehicular, obligando que en la estación No. 1 la cota riel se plantee a una profundidad de 23 m y que la cola de maniobras finalice a 38 m de profundidad.
- 4.11 Es por esta razón que, la consultoría recomienda que se modifiquen los diseños del deprimido proyectado, permitiendo la implantación de la estación No. 1 en esta intersección, mejorando la integración con la PLMB, reduciendo la profundidad de la cota riel en este punto y como consecuencia la cola de maniobras finaliza a menor profundidad con menor impacto social y económico. El análisis de las alternativas de implantación de la estación No. 1 se desarrolla en el apartado “Alternativas de trazado estación calle 72”.

Figura 4.14 - Profundidad de Cola de maniobra SLMB y deprimido proyectado PLMB

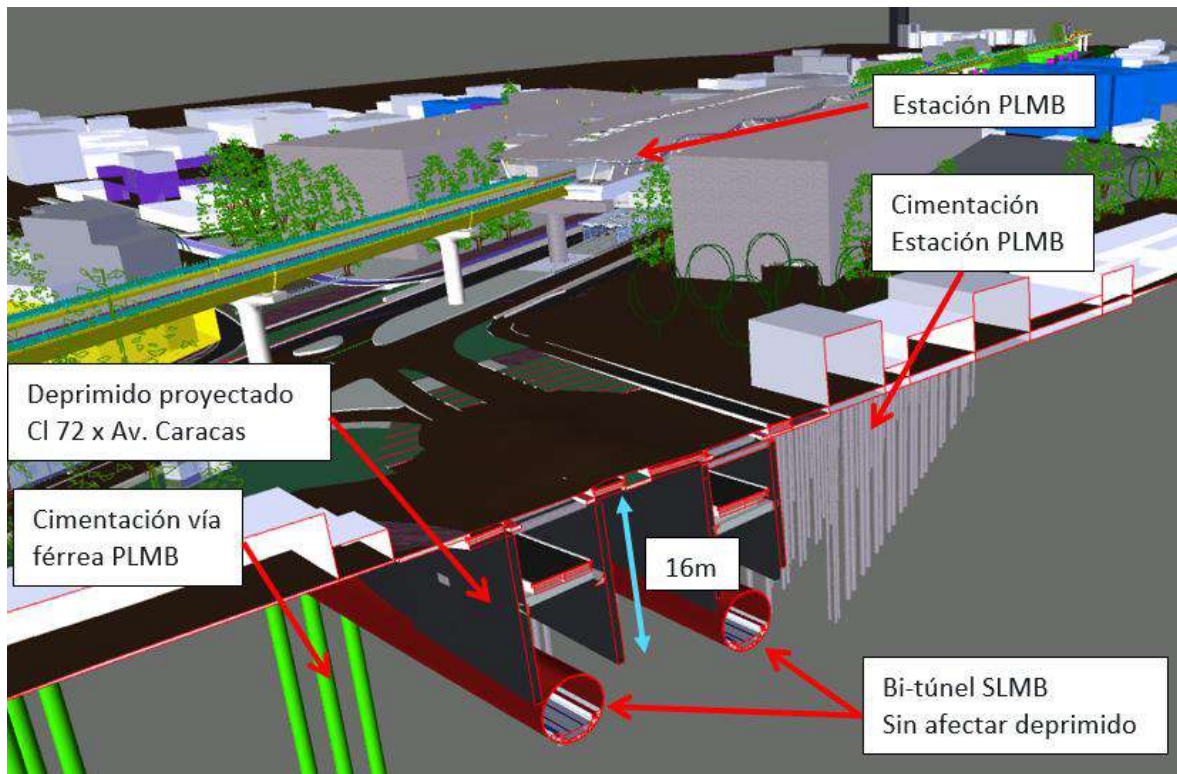


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.12 Dicho planteamiento fue resultado de una solución técnica que tiene en cuenta las condiciones generadas por el proyecto PMLB y las recomendaciones de la Empresa Metro de Bogotá S.A. (EMB) la, producto de las diferentes mesas técnicas adelantadas en desarrollo del presente contrato, en

el cual se opta por no afectar el diseño del deprimido proyectado de la Calle 72 con Av. Caracas, ni la estación 16 de la PLMB debido a que ya se cuentan con diseños de detalle y su ejecución está próxima a iniciar. Esta solución reduce la velocidad comercial considerando se requiere de mayor longitud de vía férrea y que en este tramo, el Material Rodante solo puede transitar a 45 Km/h producto de la longitud de las curvas espirales, circulares y curvas parabólicas adoptadas, las cuales se plantean en la menor longitud permitida buscando reducir al máximo la distancia de integración entre sistemas.

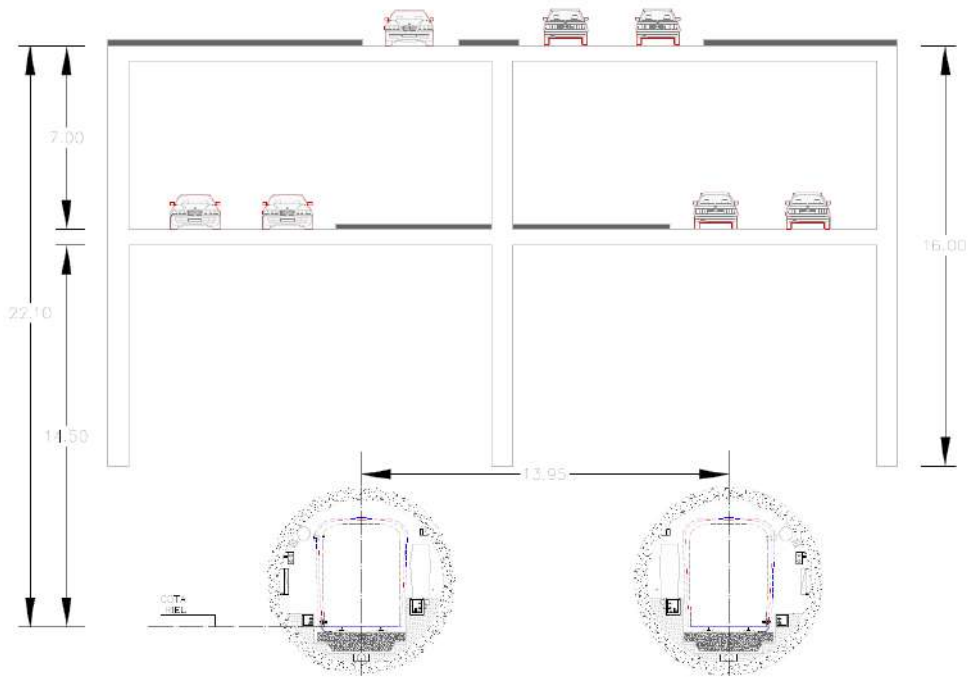
Figura 4.15 - Condiciones generadas por infraestructura PLMB



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



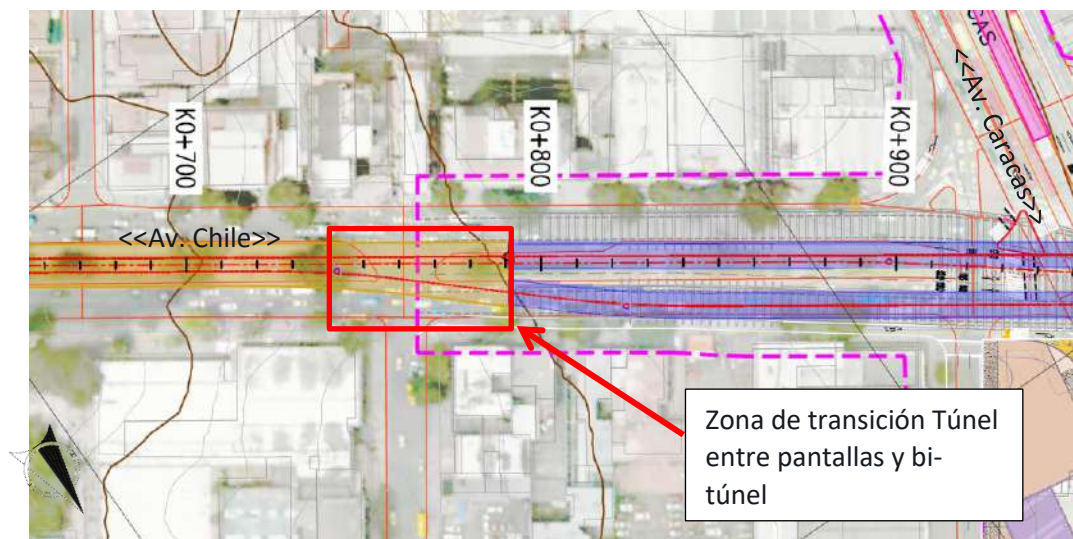
**Figura 4.16 - Corte túnel bi-tubo bajo depresido proyectado SLMB**



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

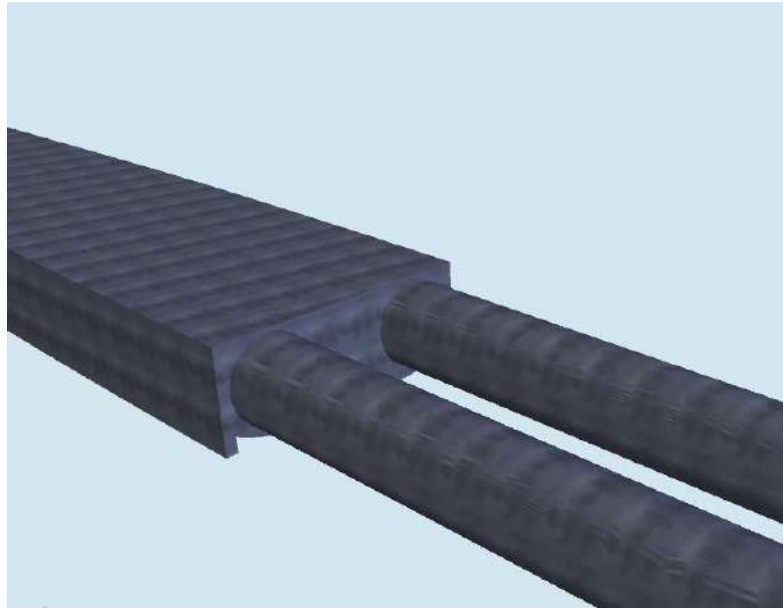
- 4.13 Como consecuencia, la estación 1 de la SLMB en su parte más profunda se localiza a 23.0 m, luego se prevé una zona con forma de trompeta, en la cual se desarrolla la transición entre el túnel con pantallas y túnel bi-tubo (Ver apartado “Tramo en Bi-Túnel con Tunnel Boring Machine - TBM”), de modo tal que, se cruce bajo el depresido con el sistema constructivo TBM (Tunnel Boring Machine por sus siglas en inglés o Máquina de perforación de túneles), en la cual no se afecta la estructura proyectada de la PLMB (Ver Figura 4.17).

**Figura 4.17 - Transición entre túnel entre pantallas y bi-túnel**



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 4.18 - Modelo 3D - Transición entre túnel entre pantallas y bi-túnel**



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

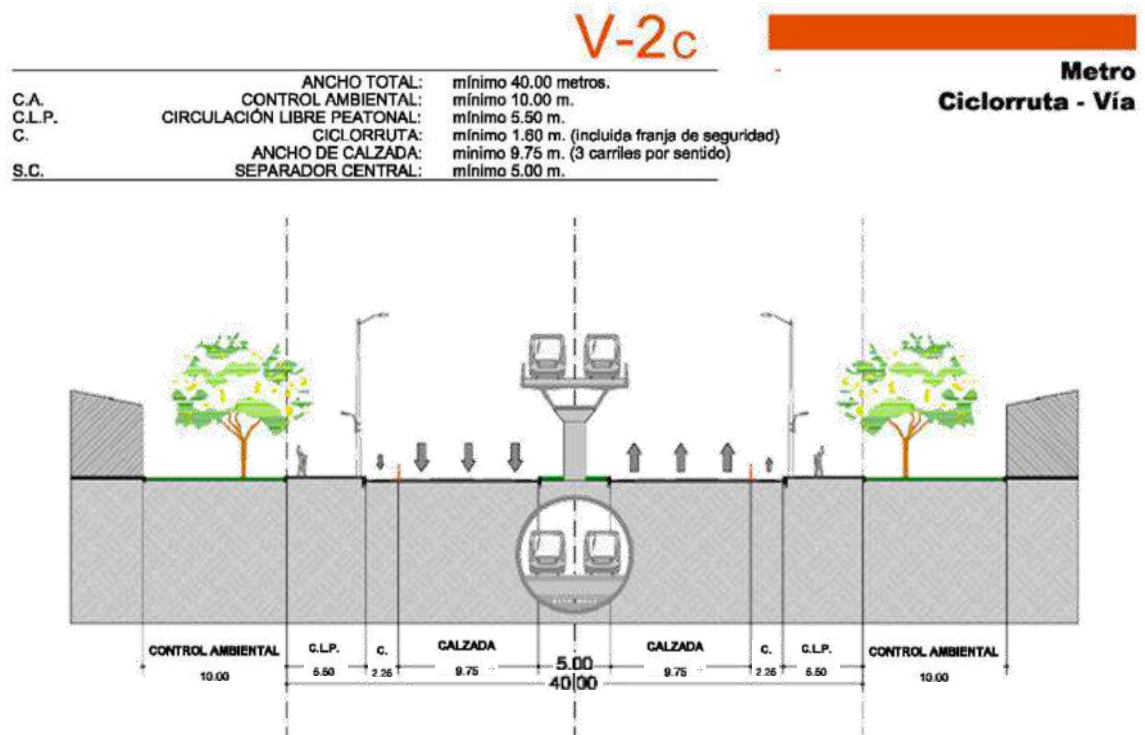
### **Tramo 1 – Calle 72 entre Av. Caracas y Av. Ciudad de Cali**

- 4.14 En el tramo 1, comprendido por el corredor de la calle 72 o Avenida Chile entre Av. Caracas y Av. Ciudad de Cali, en el cual la calle 72 se constituye como una vía que conecta la ciudad de oriente a occidente en calzada bidireccional, enlazando los cerros orientales con el extremo occidental de la ciudad, vía por la cual discurre la SLMB.
- 4.15 En este corredor se estableció una tipología vial V2<sup>2</sup> según el POT de Bogotá D.C., que permite soluciones desde 27.2m. No obstante, en algunos tramos no es posible el desarrollo de este perfil vial sin que se requiera de afectación predial, debido a que los anchos entre paramentos existentes varían entre 23.6 m y 40.0m, dificultando la implantación del perfil vial que cumple con los anchos requeridos por SDP en las zonas más angostas.

---

<sup>2</sup> <http://sinupotp.sdp.gov.co/sinupot/index.jsf#>

Figura 4.19 - Sección Vial V2 con sistema metro subterráneo - POT Bogotá.



Fuente: Anexo 8 – Decreto 190 de 2004

Figura 4.20 - Corredor vial Existente calle 72- Zonas angostas



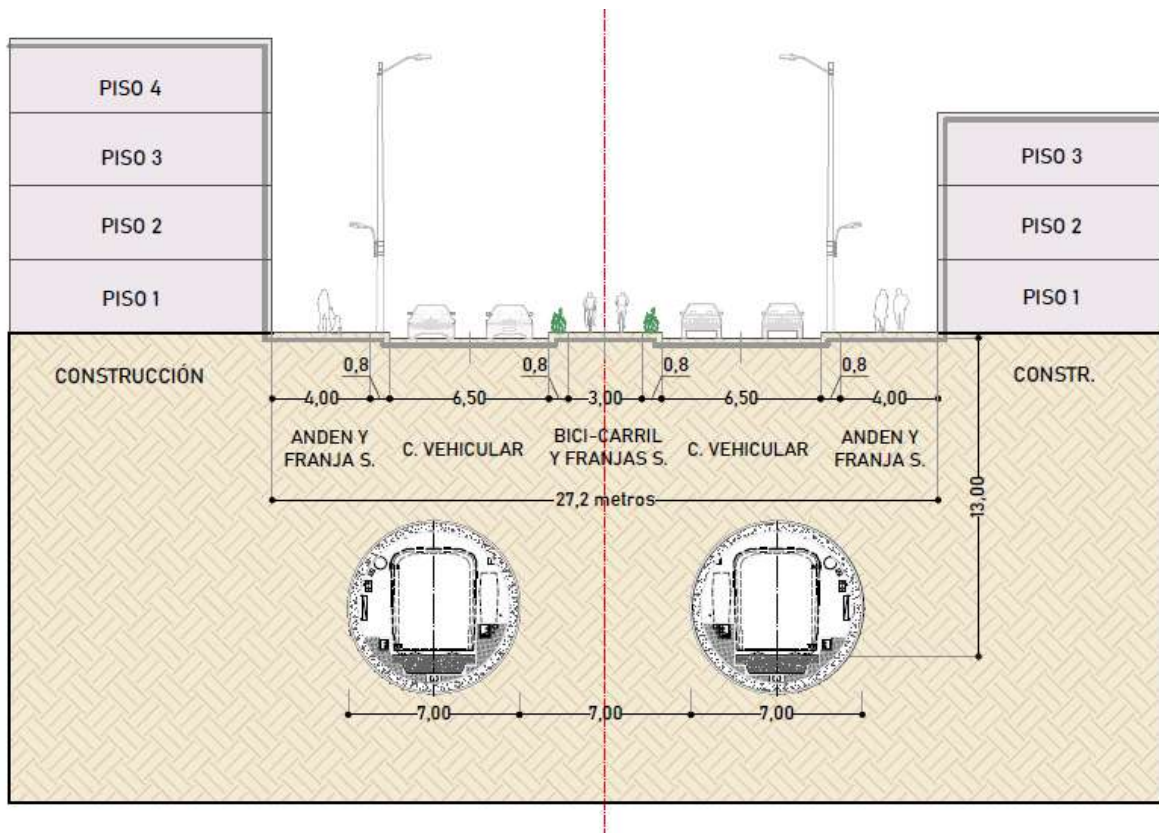
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2020

4.16 El perfil vial V2 propuesto para el tramo 1 contempla un ancho de 27.2 m, proyectándose dos calzadas vehiculares con dos carriles de 3.25 m cada uno, un separador central de 4.6 m que



alberga una ciclorruta de 3.0 m de ancho y espacio público a los costados de las vías comprendidos por un andén de 4.0 m y una franja de servicios de 0.8 m.

Figura 4.21 - Tramo 1 – perfil vial proyectado tipo V2 - Calle 72 entre Av. Caracas y Av. Ciudad de Cali



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.17 Luego de analizar la implantación del perfil vial V2 a lo largo del corredor existente de la calle 72, se identificaron sectores en los cuales no es posible la conformación del corredor vial proyectado sin realizar afectación predial, al encontrarse puntos críticos en los cuales la sección vial no alcanza un ancho de 27.2 m. Los sectores que requieren de afectación predial se muestran en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 - Sectores que requieren afectación predial para implantar perfil vial V2

CORREDOR	INICIO	FIN	ANCHO	AFECCIÓN PREDIAL	AFECCIÓN COSTADO DERECHO (m)	AFECCIÓN COSTADO IZQUIERDO (m)	AFECCIÓN TOTAL (m)
Calle 72	Av. Caracas	NQS	26.7m	SI	169.53	250.37	419.90
Calle 72	NQS	Carrera 68	23.6m	SI	1010.62	764.11	1774.73
Calle 72	Carrera 68	Av. Boyacá	36.9m	NO	0.00	0.00	0.00

CORREDOR	INICIO	FIN	ANCHO	AFECTACIÓN PREDIAL	AFECTACIÓN COSTADO DERECHO (m)	AFECTACIÓN COSTADO IZQUIERDO (m)	AFECTACIÓN TOTAL (m)
Calle 72	Av. Boyacá	Av. Cali	31.1m	NO	0.00	0.00	0.00

Nota: La cantidad de predios deberá validarse en etapas futuras con la implantación del perfil vial aprobado por la SDP.

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.18 En este tramo, la sección del sistema metro corresponde a un túnel bi-tubo, cuyas características se describen en el apartado —“Tramo en Bi-Túnel con Tunnel Boring Machine - TBM”.
- 4.19 A lo largo de este tramo se implantan las estaciones del sistema metro No. 2 - NQS, No. 3 - Cr 68, No. 4 - Av. Boyacá y No. 5 - Av. Cali, cuyas localizaciones se indican en la Tabla 4.9. El trazado geométrico férreo en estaciones conserva la premisa de estar en tramo recto y pendiente horizontal; no obstante, el alineamiento en cercanía a las estaciones es sinuoso debido a las restricciones generadas por los puentes vehiculares existentes y demás condicionantes generadas por edificaciones colindantes, donde el trazado férreo busca evitar afectar dichas estructuras, por lo que se ha planteado radios de curvatura hasta de 300m, lo cual no impacta la velocidad comercial de la línea considerando la proximidad de las estaciones.
- 4.20 La estación No. 2 – NQS se encuentra sobre el corredor vial de igual nombre y paralela al puente vehicular de la calle 72 en su costado norte, generando una geometría en “S” a la entrada y salida de la estación (ver Figura 4.22).

Figura 4.22 - Estación NQS – Empalmes sinuosos



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.21 En su paso por el canal Arzobispo, a la altura de la transversal 56ª o Km 3 del alineamiento, el trazado metro discurre con una cota riel de 13 m de profundidad y un aislamiento de 7 m del fondo del canal. Esto, considerando que es una estructura de drenaje recubierta de concreto, lo cual implica que en este punto no se encuentran aguas subterráneas generadas por este cuerpo de agua; no obstante, en fases futuras de este proyecto, es necesario realizar un estudio topográfico que permita corroborar las cotas del fondo del canal, sumado al desarrollo de exploraciones geotécnicas que permitan detallar los aislamientos requeridos del túnel Bi-tubo respecto a este cuerpo de agua.





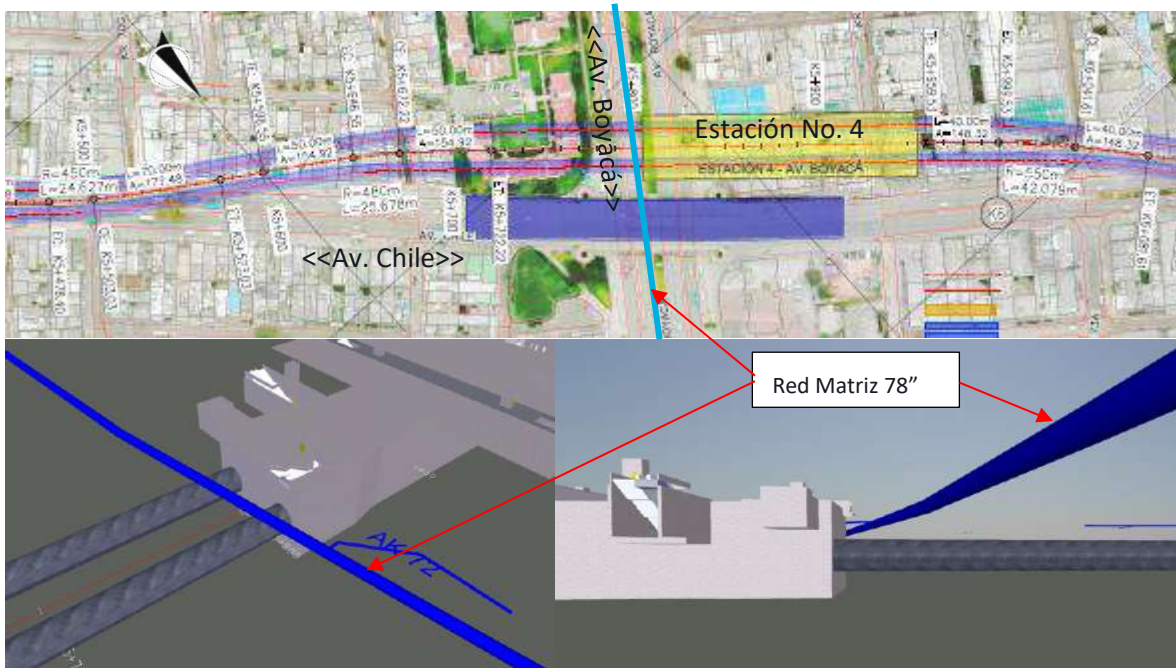
Figura 4.24 - Estación Cr 68 – Empalmes sinuosos



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.23 La estación No. 4 – Av. Boyacá se encuentra sobre el corredor vial de igual nombre y paralela al puente vehicular de la calle 72 en su costado sur, generando una geometría en “S” a la entrada y salida de la estación, en las siguientes etapas del proyecto se tendrá que verificar las cimentaciones o posible afectación de los predios del costado oriental de la Av. Boyacá. Adicionalmente, la localización de la estación, al occidente del corredor vial, es producto del cruce de la red matriz de acueducto Tibitoc de 78” de diámetro. (Ver Figura 4.25).

Figura 4.25 - Estación Av. Boyacá – Empalmes sinuosos



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.24 La estación No. 5 - Av. Cali se encuentra implantada dentro del límite de proyecto de la troncal TransMilenio de la Av. Ciudad de Cali, el cual se encuentra en fase de diseños de detalle, según el contrato IDU 1352 de 2017<sup>3</sup>.

Figura 4.26 - Estación Av. Cali



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.25 Luego del paso por la estación No. 5 del sistema Metro - Av. Ciudad de Cali, se presenta un cambio de dirección en el alineamiento férreo producto del empalme de la calle 72 con la Av. Ciudad de Cali, con un radio de giro de 250 m. Un radio de mayor longitud obliga que la estación No. 5 se aleje del corredor vial de la Av. Ciudad de Cali, aumentando la distancia de integración con las estaciones futuras del sistema TransMilenio y genera mayor afectación predial, lo cual no es deseable.
- 4.26 No obstante, el hecho que en este tramo se encuentra una estación de pasajeros, obliga que la velocidad de operación se vea limitada a la entrada y salida de la estación y es por esta razón que la velocidad no es limitada por el radio de giro, sino por la estación de pasajeros requerida.

### Tramos 2, 3, 4 y 5 - Av. Cali entre Cl 72 y Cr 104

- 4.27 Los tramos 2, 3, 4 y 5 se plantean sobre el corredor de la Av. Ciudad de Cali entre calle 72 y carrera 104, punto en el cual el trazado férreo abandona el eje de dicha vía y busca empalmarse con la reserva de la ALO. En estos tramos, el POT de Bogotá D.C. reglamenta un perfil vial tipo V2 (ver Figura 4.19), con una sección de aproximadamente 65.0 m de ancho, cuya configuración se plantea de conformidad al alcance del contrato IDU 1352 de 2017.
- 4.28 No obstante, las condiciones actuales de este corredor muestran anchos estrechos de hasta 30 m en el tramo de la Av. Ciudad de Cali entre calle 72 y carrera 91; sin embargo, el proyecto de la Troncal de TransMilenio por este corredor vial contempla la ampliación del perfil vial a 60 m de

<sup>3</sup> Contrato IDU 1352 de 2017 cuyo objeto es “Factibilidad y actualización, complementación, ajustes de los estudios y diseños, y estudios y diseños para la ampliación y extensión de la Avenida Ciudad de Cali al sistema Transmilenio, entre la Avenida Circunvarial del Sur y la Avenida Calle 170 y de los equipamientos urbanos complementarios, en Bogotá”.



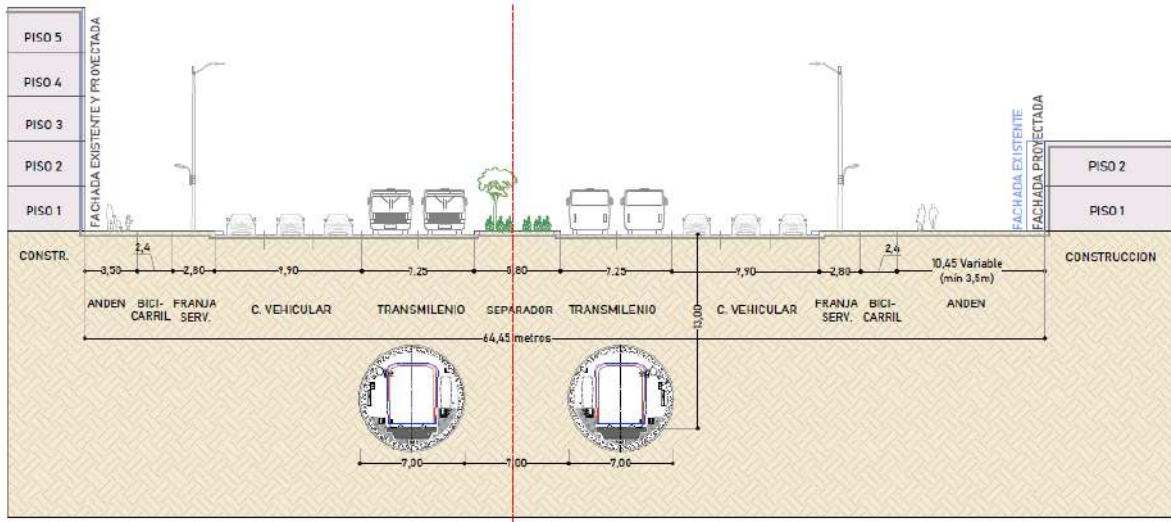
ancho, en el cual se incluyen dos calzadas vehiculares de tres carriles por sentido de 3.25 m, dos carriles por sentido para el sistema TransMilenio de 3.50 m, tacha de 0.25 m y un separador central que varía entre 5 m y 6 m de ancho.

- 4.29 En estos tramos, la sección del sistema metro corresponde a un túnel bi-tubo (Ver numeral 0-Tramo en Bi-Túnel con y se desarrolla dentro de los límites del proyecto de TransMilenio por la Av. Ciudad de Cali.

### Tramo 2 - Av. Cali entre CI 72 y CI 80

- 4.30 El tramo 2 se desarrolla entre la Av. Ciudad de Cali entre CI 72 y Av. CI 80, donde se implanta la estación No. 6 del sistema metro - Calle 80, la cual se encuentra localizada en la intersección de la Av. Ciudad de Cali con Av. Calle 80, conservando el aislamiento necesario para la ampliación de la Av. Ciudad de Cali según el perfil señalado en la Figura 4.27, cuya propuesta de diseño contempla la construcción de dos puentes vehiculares en esta intersección, dicha propuesta se podrá ajustar en etapas posteriores del proyecto para mejorar la armonización de los 2 sistemas de transportes.

Figura 4.27 - Tramo 2 – Av. Cali entre CI 72 y CI 80 – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.31 Además, la estación calle 80 del sistema metro contempla una integración de pasajeros con las troncales de TransMilenio de la Av. Ciudad de Cali y Calle 80.

Figura 4.28 - Tramo 2 – Av. Cali entre CI 72 y CI 80 dentro de límite de proyecto TransMilenio IDU 1352 de 2017



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



### Tramo 3 - Av. Ciudad de Cali entre Cl 80 y Canal Rio Negro

4.32 El tramo 3 comprende el corredor de la Av. Ciudad de Cali entre Calle 80 y el Canal Rio Negro (Dg 91), donde se implanta la estación No. 7 del sistema metro – Carrera 91, la cual se encuentra localizada en la intersección de la Av. Ciudad de Cali con Carera 91, previo al cruce del canal Rio Negro y las estructuras proyectadas por el proyecto de TransMilenio en este corredor vial (Ver Figura 4.29). En el paso por el Canal Salitre, se recomienda un aislamiento de 7 m entre el túnel y el fondo del canal (Ver Figura 4.30).

Figura 4.29 - Tramo 3 – Av. Cali entre Cl 80 y Canal Rio Negro



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

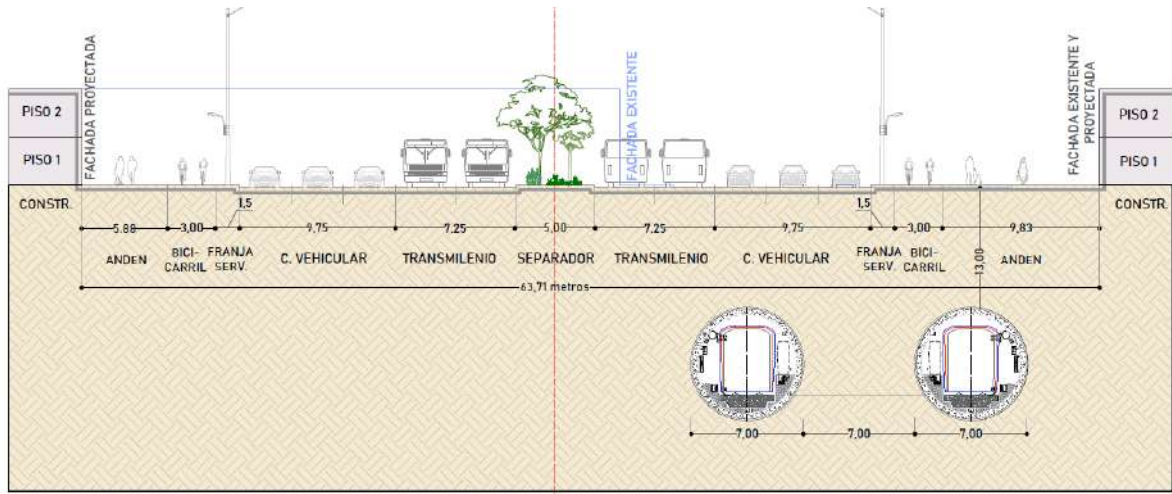
Figura 4.30 – Paso túnel Bi-tubo por Canal Salitre



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.33 La implantación del sistema metro en el perfil vial proyectado se muestra en la Figura 4.31, en el cual el eje de la SLMB se plantea coincidiendo con el eje vial existente del corredor, considerando que al momento de desarrollar el presente informe, se contempla la construcción de la troncal TransMilenio por la Av. Ciudad de Cali hasta la Calle 80 y, de esta manera, reducir el impacto generado por la inserción del proyecto metro en este tramo.

**Figura 4.31 - Tramo 3 – Av. Cali entre Cl 80 y Canal Rio Negro – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017**



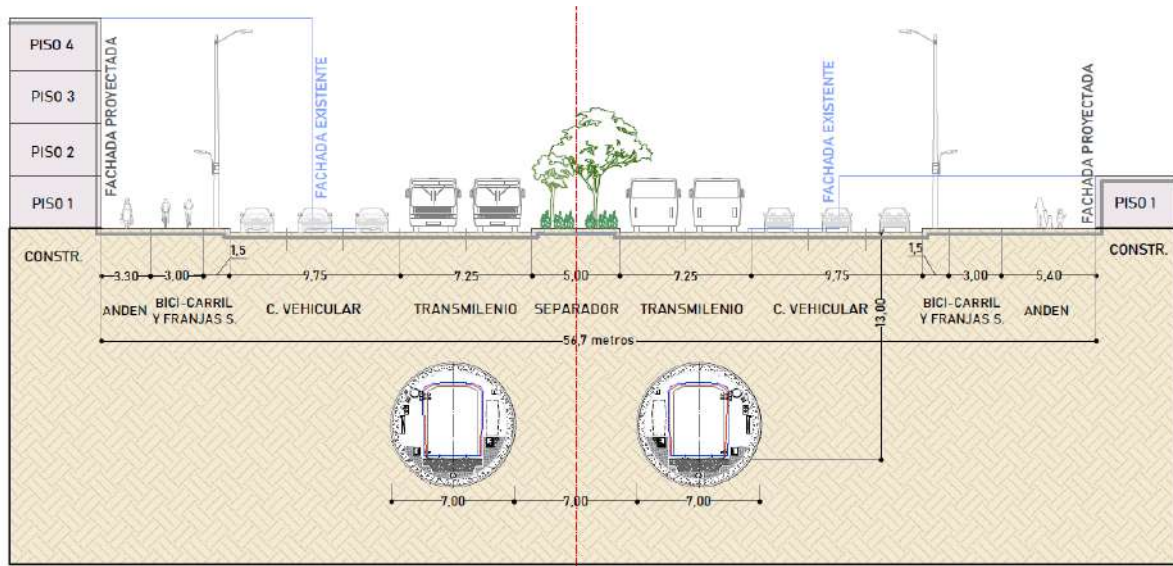
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

#### **Tramo 4 - Av. Cali entre Canal Rio Negro y Cr 91**

4.34 El tramo 4 comprende el corredor de la Av. Ciudad de Cali entre Canal Rio Negro (Dg 91) y Carrera 91, donde no se implantan estaciones del sistema metro.

4.35 La inserción del sistema metro en el perfil vial del proyecto TransMilenio se muestra en la Figura 4.32, donde el eje de la SLMB busca coincidir con el alineamiento del eje del corredor vial existente, considerando que al momento de desarrollar el presente informe, se contempla la construcción de la troncal TransMilenio por la Av. Ciudad de Cali solo hasta la Calle 80; de esta manera, se busca reducir el impacto generado por la inserción del proyecto metro en este tramo.

**Figura 4.32 - Tramo 4 – Av. Cali entre Canal Rio Negro y Cr 91 – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017**



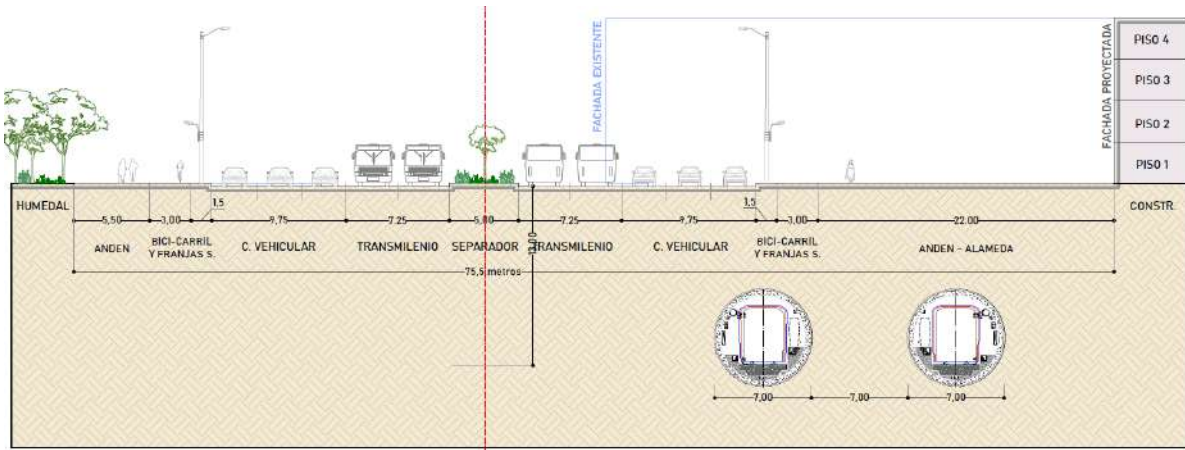
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

#### Tramo 5 - Av. Cali entre Cr 91 y Carrera 104

- 4.36 El tramo 5 se desarrolla en el corredor de la Av. Ciudad de Cali entre Carrera 91 y Carrera 104, posterior a esta zona, el eje férreo se separa del alineamiento de la Av. Ciudad de Cali, pasa bajo el barrio Nueva Corinto y se empalma con la Reserva Vial de la ALO.
- 4.37 La inserción del sistema metro en el perfil vial se muestra en la Figura 4.33, donde se plantea el eje de trazado y la localización de la estación de la SLMB al oriente del alineamiento del corredor vial planeado por el proyecto TransMilenio, reduciendo los impactos ambientales generados por la SLMB, considerando que el humedal Juan Amarillo presenta una zona de protección ambiental amplia, con restricciones normativas para su intervención.



**Figura 4.33 - Tramo 5 (Humedal Juan Amarillo) – Av. Cali entre Cr 91 y Cr 91 – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017**



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.38 En este tramo, se implanta la estación No. 8 del sistema metro – Humedal, la cual se encuentra localizada frente al Humedal Juan Amarillo como se muestra en la Figura 4.34.

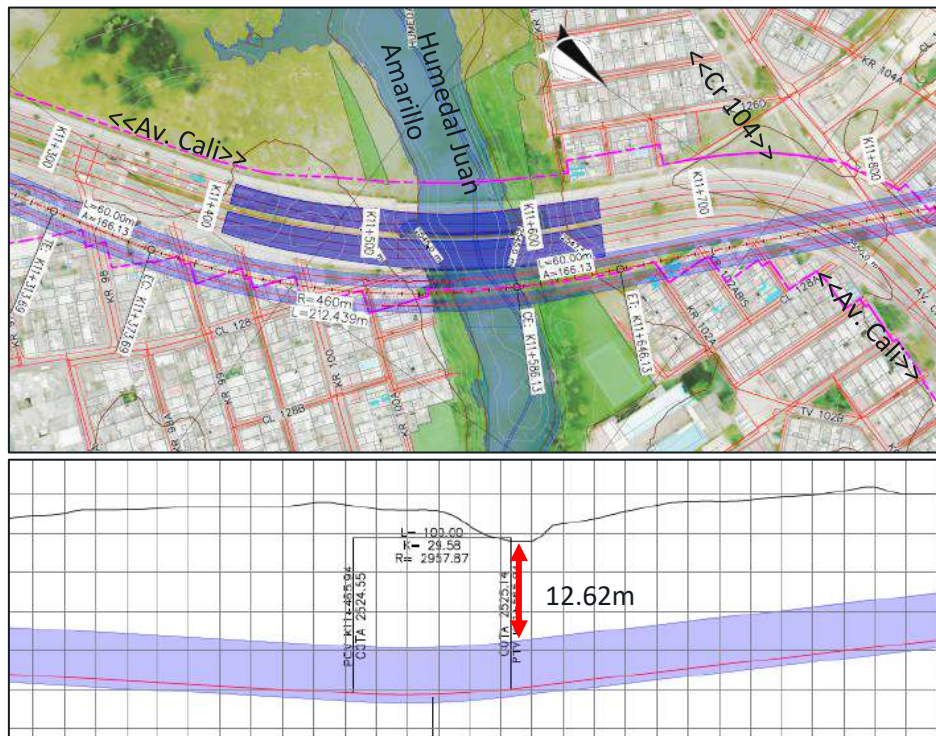
**Figura 4.34 - Tramo 5 – Av. Cali entre Cr 91 y Cr 104 – perfil vial proyectado tipo V2 contrato IDU 1352 de 2017**



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

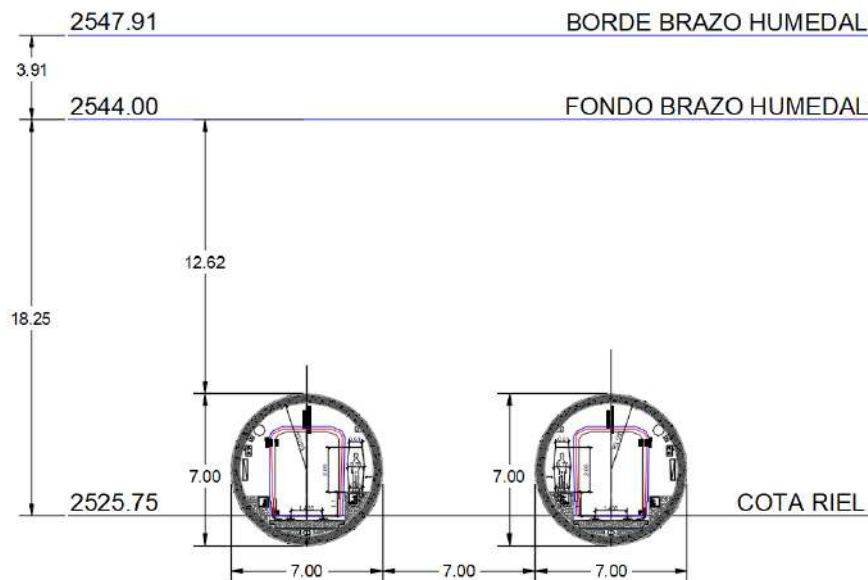
4.39 Como consecuencia de las restricciones ambientales, es necesario que el perfil vertical se profundice por su paso por el brazo del humedal Juan Amarillo, evitando afectar las aguas subterráneas en esta zona (Ver Figura 4.35). En todo caso, la cota riel definitiva deberá ser validada con información proveniente de un estudio hidrogeológico en etapas posteriores del proyecto.

Figura 4.35 - Tramo 5 – paso por el brazo del Humedal Juan Amarillo



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Figura 4.36 - Tramo 5 – Corte transversal paso por el brazo del Humedal Juan Amarillo



Nota: en esta etapa de prefactibilidad se propone un recubrimiento mínimo de 12.62m al fondo del brazo del Humedal Juan amarillo. Estas profundidades deberán ser analizadas y ajustadas una vez se cuente con un levantamiento topográfico reciente y se adelante un estudio hidrogeológico.

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



## Tramo 6 – Conexión entre Av. Cali y Reserva ALO

4.40 El tramo 6 se desarrolla en una zona entre los corredores de la Av. Ciudad de Cali y la Reserva Vial de la ALO, discurriendo bajo el barrio Nueva Corinto, donde se presentan construcciones de viviendas, las cuales no exceden los cuatro pisos en altura y por consiguiente se espera que las cimentaciones construidas tengan un desarrollo superficial. Ver Figura 4.37.

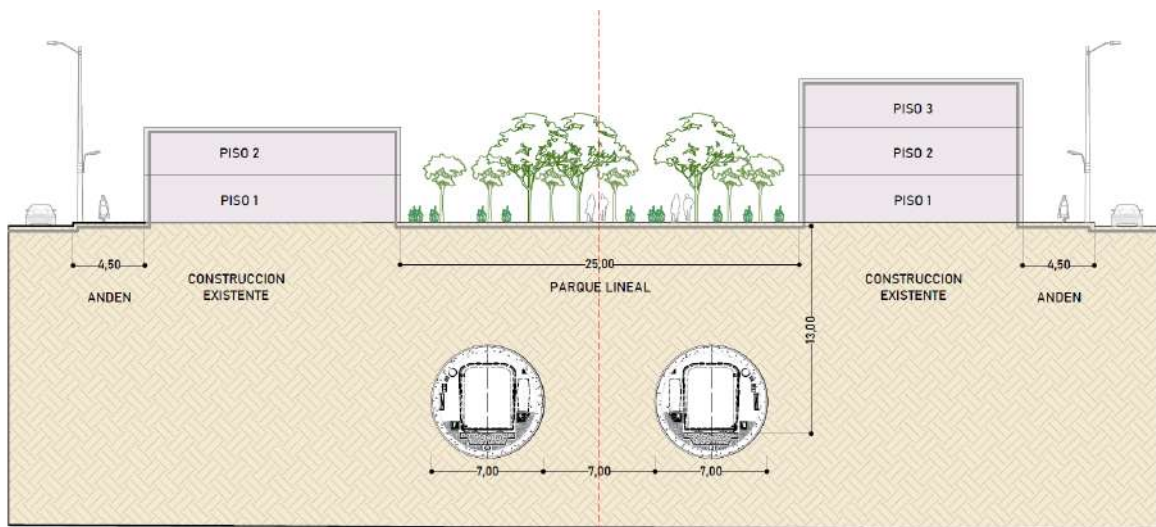
Figura 4.37 - Tramo 6 – Paso bajo el barrio Nueva Corinto



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.41 Para este sector se propone un tratamiento en superficie que involucra la demolición de los predios existentes en la parte superior del trazado, y la creación de un parque lineal que conecta peatonalmente la Av. Ciudad de Cali y la Reserva de la ALO. Ver Figura 4.38.

Figura 4.38 - Tramo 6 – Barrio nueva Corinto – parque lineal sobre SLMB

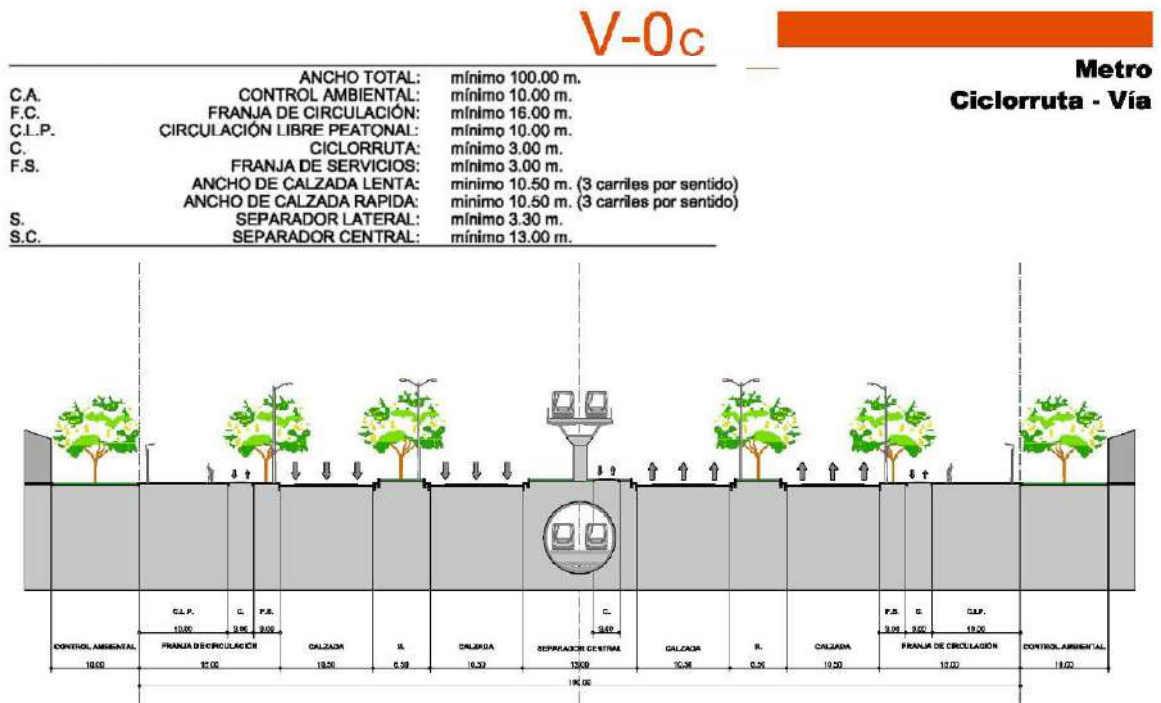


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Tramo 7 – Conexión entre Av. Cali y Reserva ALO

4.42 El tramo 7 está comprendido por el sector de la reserva vial de la ALO entre el Humedal Juan Amarillo (Calle 128) y Av. Suba (Carrera 145), con un perfil vial proyectado V0<sup>4</sup> según el POT de Bogotá, en el cual se requiere un ancho de 100.0 m (ver Figura 4.39) y que como resultado del contrato IDU No. 1475 de 2017<sup>5</sup> se cuentan con diseños viales de la ALO en este sector (ver Figura 4.40).

Figura 4.39 - Perfil vial ALO según el Sistema de movilidad - Secciones viales y circuitos de movilidad del POT de Bogotá

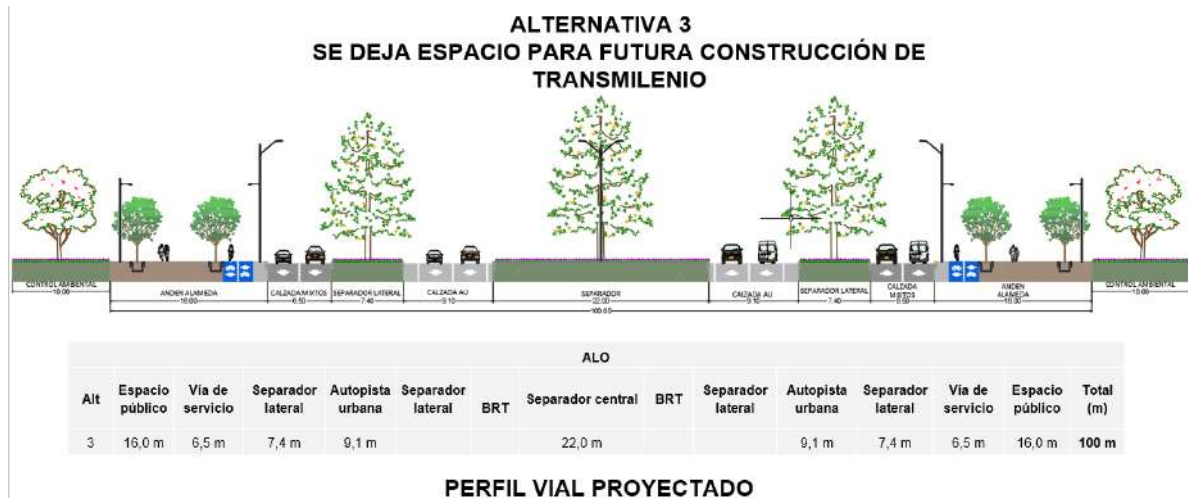


Fuente: Anexo 8 – Decreto 190 de 2004

<sup>4</sup> <http://sinupotp.sdp.gov.co/sinupot/index.jsf#>

<sup>5</sup> contrato IDU N° 1475 DE 2017 cuyo objeto es “Estudios y diseños del troncal centenario desde el límite occidente del Distrito hasta la troncal Américas con carrera 50, y de la avenida longitudinal de occidente, ramal Av. Villavicencio hasta la Av. Cali y ramal Av. Américas hasta la Av. Cali en Bogotá D.C.”

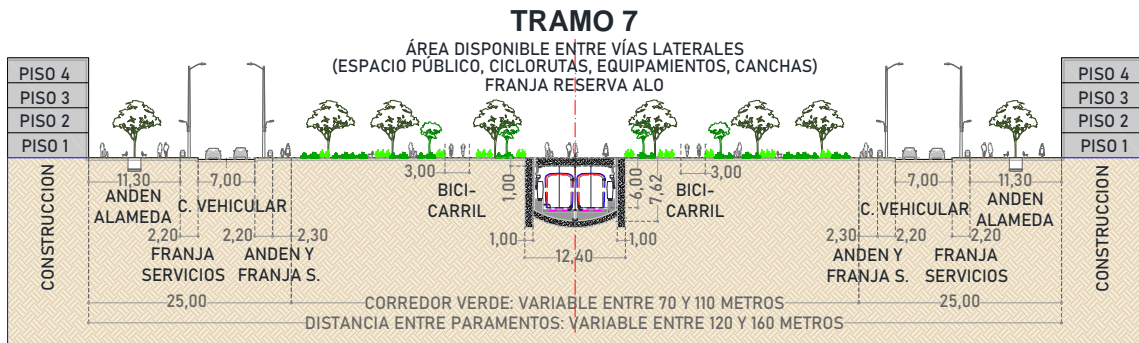
Figura 4.40 - Alternativa 3 – perfil vial proyecto ALO - contrato IDU N° 1475 DE 2017



Fuente: Informe técnico de factibilidad diseño geométrico vial - Contrato IDU N° 1475 DE 2017

- 4.43 Este proyecto presenta restricciones ambientales por el cruce de los Humedales Juan Amarillo y la Conejera, por las cuales la Alcaldía de Bogotá optó por no desarrollar el corredor vial de la Figura 4.40 entre la Calle 128 y Av. Suba (Cr 145), razón por la cual se solicitó por parte de la EMB y SDP el desarrollo del perfil vial propuesto en la Figura 4.41.
- 4.44 Como consecuencia de lo anterior y basado en el producto de las diferentes mesas de trabajo en conjunto con la EMB y FDN, se propuso que en el perfil vial a implementar en la reserva vial de la ALO entre el Humedal Juan Amarillo (Calle 128) y la Av. Transversal de Suba, se conserven las franjas de espacio público y vías de servicios a los extremos del corredor vial; el resto de la sección, es decir la franja destinada a transporte masivo y/o separador central, los carriles mixtos y los separadores de calzadas serán remplazadas por un tratamiento urbanístico en superficie. En tal sentido, se proyectó un sistema férreo mediante un túnel entre pantallas con una profundidad de la cota riel de 6.0 m bajo la superficie del terreno existente como se muestra en la Figura 4.41.

Figura 4.41 - Tramo 7 - Perfil vial ALO SLMB

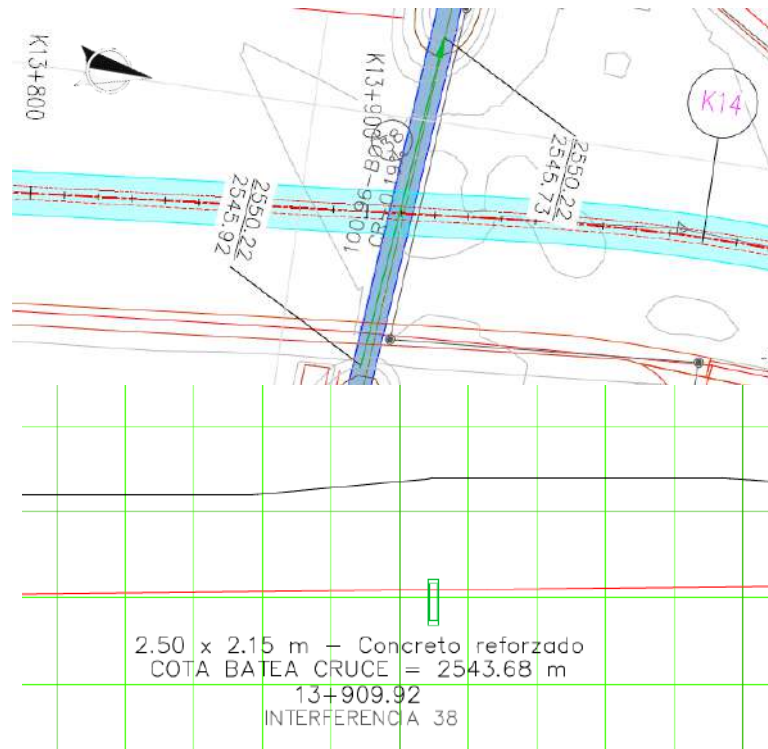


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



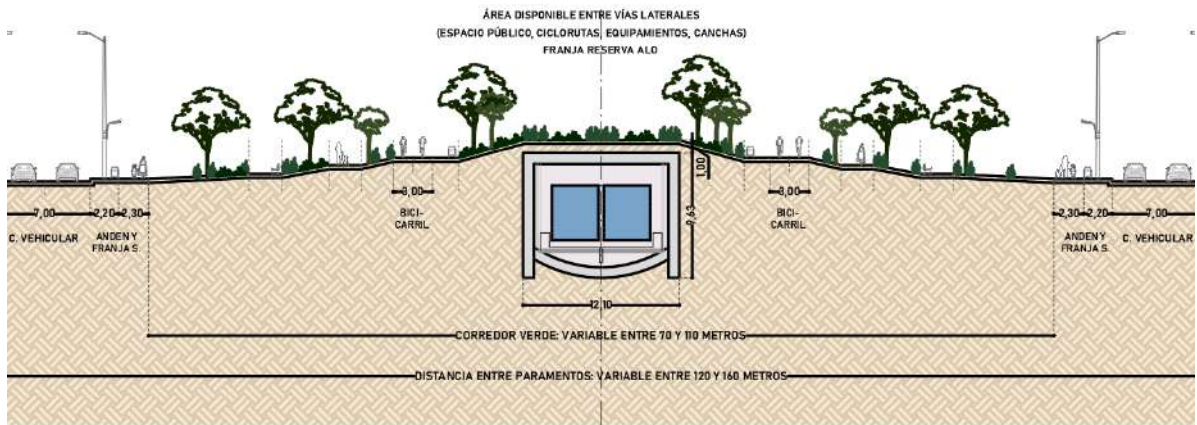
- 4.45 El planteamiento anterior, permite el futuro desarrollo del corredor vial de la ALO sin presentar interferencia con el trazado del sistema férreo subterráneo, debido a la compatibilidad de ejes; a esto se suma que, al conservar la superficie con desarrollo urbanístico a un mismo nivel, el Distrito Capital contemple otros usos como por ejemplo la construcción de patios del SITP.
- 4.46 Respecto a los cruces viales a lo largo de la ALO y el tramo en la Av. Suba (Ver Figura 4.47), es necesario que en fases futuras de este proyecto que se adelante un estudio de tráfico para estimar en número de ejes equivalentes y poder determinar las cargas a las que estará expuesta la estructura túnel por efecto del tráfico mixto y de esta manera dimensionar de forma detallada la infraestructura metro.
- 4.47 Por otro lado, es factible elevar la cota riel 2.0 m, con lo cual la estructura del túnel sobresale en igual longitud respecto a la superficie existente, facilitando la construcción de la estructura, considerando que se requiere excavar a menor profundidad y la protección contra el nivel freático es menor (ver Figura 4.43). Esta alternativa permite solucionar varios cruces de redes de aguas lluvias de una forma más económica, ya que se abre la posibilidad de desarrollo de drenaje por gravedad en las redes existentes que cruzan la infraestructura metro, alternativa que se podrá evaluar en las siguientes etapas del proyecto.
- 4.48 Un claro ejemplo de esto es el cruce del sistema metro con el canal Cafam a la altura del Km 14, donde la cota riel se encuentra en la sección existente del canal, obligando a que se plantee un canal paralelo al túnel férreo desde este punto y finalizando en el pondaje de la EAAB en cercanías del río Bogotá.

Figura 4.42 – Cruce canal Cafam



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Figura 4.43 - Alternativa perfil Tramo 7 – Estructura túnel sobresaliendo 2.0m del terreno existente



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.49 En el desarrollo del sistema férreo por el tramo 7, se implanta la estación No. 9 – ALO sur, la cual se encuentra posterior a la transición entre el túnel bi-tubo y el túnel en pantallas, en proximidades a la reserva vial de la Av. Tabor (Ver Figura 4.44).

Figura 4.44 - Tramo 7 – Localización estación ALO sur



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.50 La transición se despliega en una longitud cercana a los 100 m, en la cual se pasa de un intereje de 14 m a 3.9 m. De la misma manera sucede con el alineamiento vertical, donde se pasa de una cota riel de 13 m a 6 m de profundidad (Ver Figura 4.45).



Figura 4.45 – Transición entre túnel bi-tubo y túnel en pantallas ALO



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.51 La estación No. 10 – ALO Norte, se encuentra en proximidad a la Av. Transversal Suba, previo al cambio de dirección del alineamiento férreo, el cual empalma el eje de la reserva de la ALO y la Av. Transversal Suba (Ver Figura 4.46).

Figura 4.46 - Tramo 7 – Localización estación ALO norte



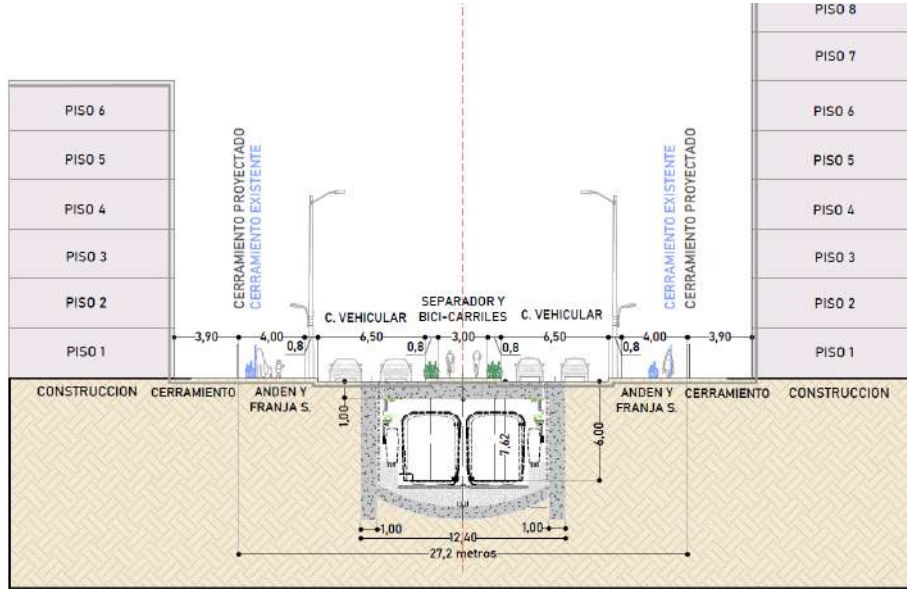
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Tramo 8 – Av. Suba entre reserva vial ALO y Cr 136<sup>a</sup>

- 4.52 El tramo 8 se desarrolla por la reserva vial de la Av. Transversal Suba entre reserva vial de la ALO y Cr 136<sup>a</sup>, en un contexto urbano y densificado con torres de apartamentos y corredor vial existente de 25.0 m, aproximadamente, de ancho entre cerramiento.
- 4.53 El sistema férreo discurre por este sector con un túnel entre pantallas con cota riel a 6.0 m de profundidad respecto a la rasante existente, permitiendo la implantación de un perfil vial V2 en su

versión más reducida, con 27.2 m de ancho, cumpliendo con los requisitos mínimos estipulados por la Secretaria Distrital de Planeación (SDP). Esta vía contará con dos calzadas vehiculares con dos carriles de 3.25 m cada uno, un separador central de 4.6 m, que alberga una ciclorruta de 3.0 m de ancho y andenes de 4.0 m con franjas de aislamiento de 0.8 m (Ver Figura 4.47).

Figura 4.47 - Tramo 8 – Perfil vial proyectado V2 – Túnel férreo entre pantallas



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.54 En este sector, se propone una solución mediante túnel entre pantallas para el sistema metro, permitiendo el desarrollo vial en superficie, con la necesidad de afectar los cerramientos de los conjuntos residenciales colindantes para implantar a satisfacción el perfil vial requerido.

Figura 4.48 - Tramo 8 – Perfil vial existente de 25.0 m de ancho

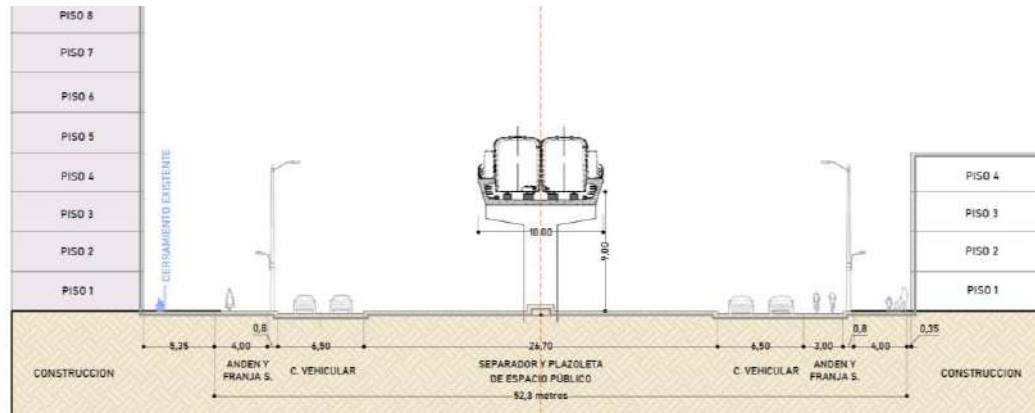


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Tramo 9 – Reserva vial Av. Suba entre Cr 136ª y Cr 147

- 4.55 El tramo 9, se desarrolla en la reserva vial de la Av. Suba entre Cr 136ª y Cr 147, finalizando en el predio denominado Fontanar del Río. El perfil vial propuesto se ajusta a una vía V2, con un ancho de 52.2 m, en el cual se contempla dos calzadas vehiculares con dos carriles de 3.25 m cada uno, franjas de aislamiento de 0.8 m, una ciclorruta de 3.0 m al costado norte, andenes de 4.0 m y un separador central y/o plazoleta de espacio público de 26.7 m (Ver Figura 4.49), permitiendo la implantación de la estación metro No. 11 – Fontanar y que además permite la conexión mediante un espacio público amplio dicha estación con el parque Fontanar.

Figura 4.49 - Tramo 8 – Perfil vial proyectado V2 – Metro elevado en viaducto.



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.56 El sistema férreo se plantea en viaducto en este tramo, debido al riesgo de inundación (clasificado entre alto e intermedio) que se presenta esta zona de la ciudad<sup>6</sup> (Ver Figura 4.50). Las áreas de inundación deberán ser validadas en etapas futuras del proyecto y posterior a esto, se deberá garantizar una adecuada protección sobre la cota de inundación, garantizando la fiabilidad del sistema, evitando la suspensión de la operación por problemas de inundación en los túneles férreos.

<sup>6</sup> Resolución 1641 de 2020 SDP – Mapa No. 4 Amenaza por inundación



Figura 4.50 - Zonas con riesgo de inundación alto e intermedio SDP Resolución 1641 de 2020.



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.57 La transición entre el túnel con pantallas y el viaducto se desarrolla en el punto donde termina la mancha de inundación, en una zona amplia donde el impacto urbano es menor (Ver Figura 4.51), en comparación al tramo 8, donde se cuenta con un perfil vial existente de 25.0m de ancho.

Figura 4.51 - Transición entre sistemas metro subterráneo y elevado.



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.58 Además, en este tramo se implanta la estación metro No. 11 cuya tipología es elevada (Ver Figura 4.52), cuya localización obedece a condicionantes generadas por la geometría en planta y perfil, más requerimientos operacionales para las actividades de retorno y acceso al patio-taller.

**Figura 4.52 - Estación No. 11 – Fontanar.**

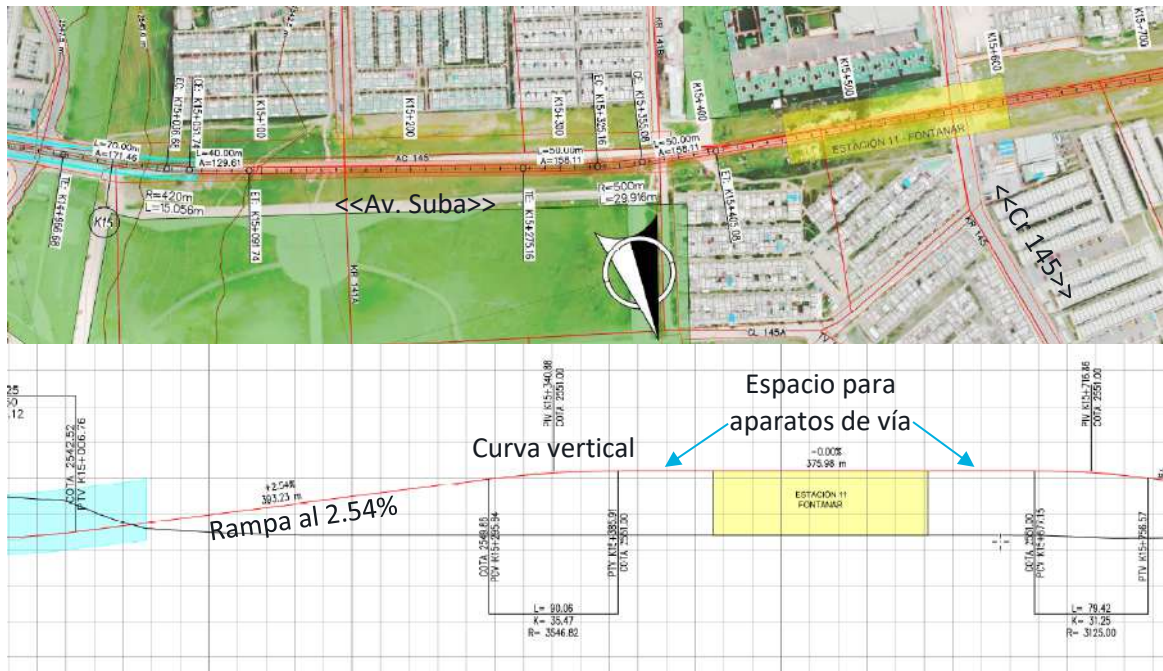


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.59 Dicho de otro modo, la geometría en planta busca la coincidencia del eje férreo con el eje vial proyectado, donde se espera no limitar el desarrollo de nueva infraestructura en la zona. Así mismo, el sistema metro requiere de un tramo recto cuya longitud permita la implantación de andenes de 145.0 m, que es la longitud del material rodante adoptado para el proyecto, sumado a la necesidad operacional de poner aparatos de vía antes y después de esta estación terminal en tramo recto y pendiente constante (ver Figura 4.53).
- 4.60 Del mismo modo, la localización de la estación se ve restringida por el diseño en perfil, considerando la transición entre el tramo túnel y tramo elevado sumado al tramo de vía en la que se requiere la colocación de aparatos de vía en pendiente constante antes y después de la estación de pasajeros (ver Figura 4.53). Así mismo, la cota riel en estación se encuentra a 9.0 m sobre el terreno existente.



Figura 4.53 - Geometría que restringe la localización de la estación No. 11



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.61 El tramo 11 finaliza en el Pk 15+760, en la carrera 147 y da paso a las instalaciones del Patio y Taller, donde también se contempla la construcción de una extensión de la línea 2 del metro, que permitirá la conexión con el Municipio de Cota, paralelo a la extensión de la Av. Suba, que podrá conectar a Bogotá con este municipio (Ver Figura 4.54).

Figura 4.54 - Acceso a Patio-Taller, Ramal SLMB a Cota y extensión Av. Suba hacia Cota



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

4.62 Dentro del Patrio-Taller, es necesario el desarrollo de un tramo en viaducto de 300 m, evitando el desplazamiento y/o reconstrucción del pondaje existente de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (Ver Figura 4.55).



Figura 4.55 - Viaducto en Patio-Taller sobre pondaje EAAB existente



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.63 Finalmente, la zona restante del Patio-Taller se opta por incrementar el nivel del terreno 5.0 m aproximadamente, mitigando el potencial riesgo de inundación de la zona, aportando mayor fiabilidad a la operación del sistema. Los detalles del diseño de Patio-Taller se encuentran en el PRODUCTO 4 - Entregable 7\_ Propuesta funcional y pre dimensionamiento de infraestructura del Patio Taller.

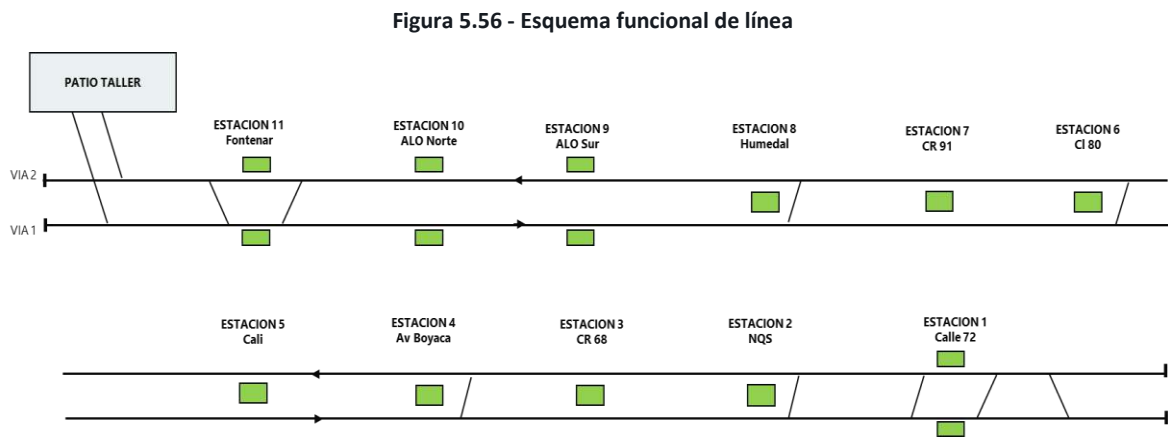
## 5 Esquema Funcional de la Línea

### Descripción de la línea

5.1 Para la definición del esquema funcional de la SLMB se han considerado las siguientes premisas, siempre que el trazado en planta y perfil lo permitan:

- Los aparatos de vía se deben colocar en zonas de pendiente uniforme;
- Los aparatos de vía se deben colocar en tramos rectos;
- Los aparatos de vía se deben colocar lo más cerca posible a las estaciones;
- Se proponen diagonales para los cambios dobles de vía.

5.2 A continuación, se incluye el esquema funcional propuesto (Ver Figura 5.56).



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

5.3 El detalle de las definiciones operaciones se encuentra en el Producto 6 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias, Entregable 9 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias | Informe de Sistemas y Operación.

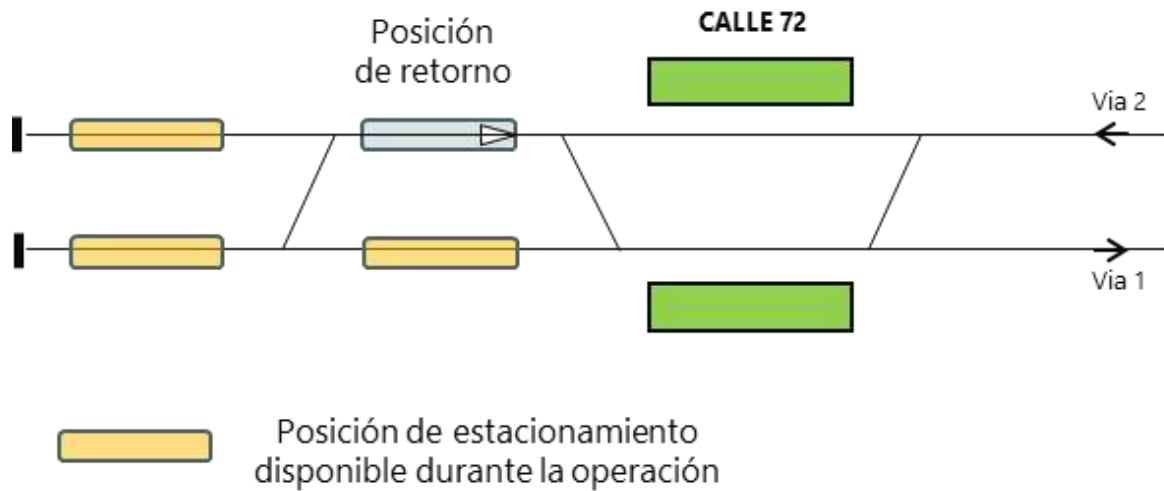
### Descripción de las colas de maniobra

5.4 La configuración seleccionada para la estación de Calle 72 y su cola de maniobra proporciona la posibilidad de estacionar un máximo de 3 trenes durante el periodo de operación de la línea (ver Figura 5.57). Durante la noche (sin servicio comercial), se podría también estacionar un tren adicional en la posición de retorno (es decir 4 posiciones de estacionamiento durante la noche sin considerar la posibilidad de parquear trenes en la zona de andenes). Teóricamente serían posibles posiciones adicionales alargando la cola de maniobra, pero el contexto del sitio (edificios existentes en la zona, topografía, entre otros), hace que su implantación sea difícil y costosa.



Se recomienda, a este nivel de estudio de prefactibilidad, considerar este número de posiciones como mínimo (es decir una posición adicional por vía después de la zona de retorno) y estudiar en las etapas siguientes la posibilidad de incluir posiciones adicionales si se desea dar una mayor flexibilidad a la operación de la línea.

Figura 5.57 - Cola de maniobras



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

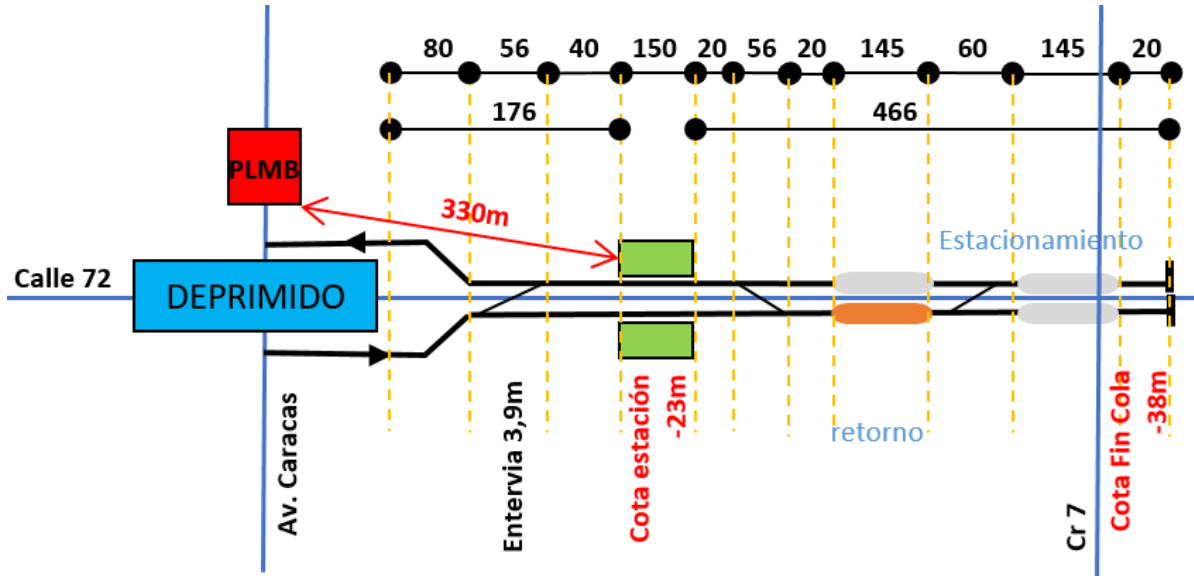
## 6 Alternativas de trazado estación calle 72

- 6.1 La estación No. 1 de la SLMB es una de las más importantes para esta línea, considerando que es la estación de intercambio con la estación No. 16 de la PLMB, donde se espera que un gran número de pasajeros realicen intercambio entre las dos líneas de metro.
- 6.2 No obstante, la infraestructura planeada por el proyecto PLMB limita las posibilidades de desarrollo óptimo de la SLMB, por tal razón fue necesario analizar detenidamente desde la especialidad de geometría de vía la mejor localización de la estación, buscando una solución técnica que permita reducir al máximo la distancia entre estaciones. Este análisis se resume en dos alternativas de implantación de estación las cuales se describen a continuación:

### Alternativa 1 – Sin afectación a infraestructura proyectada PLMB

- 6.3 Considerando la solicitud de la EMB de no afectar el deprimido de la Calle 72 con Av. Caracas y la estación No. 16 de la PLMB, se propone que la configuración estación No. 1 de la SLMB tenga plataformas laterales, permitiendo que el intereje entre vía sea de 3.9 m en la estación y cola de maniobra, reduciendo la longitud requerida para el desarrollo de los aparatos de vía y que el final de la cola de maniobra se localice 60 m al oriente de la carrera 7.
- 6.4 Es importante mencionar que en la intersección de la Carrera 7 con Calle 72, para el sistema TransMilenio se contempla la construcción de una glorieta deprimida y por tal razón, es necesario que en las fases siguientes del proyecto, una vez se cuente con diseños de detalle y se conozca el cronograma de ejecución de los dos proyectos (Corredor Verde y SLMB), se armonicen los diseños y/o se analicen a detalle el método constructivo a usar en la construcción de la cola de maniobra para no afectar la infraestructura proyectada.
- 6.5 La implantación de la estación No. 1 en esta alternativa obedece a 80.0 m que se requieren para el desarrollo de la trompeta en la cual se realiza la transición entre el túnel Bi-tubo y túnel entre pantallas, pasando de un intereje de 14.0 m a 3.9 m; posterior a esto, se requiere la instalación de un aparato de vía por requerimiento operacional con un desarrollo de 56.0 m, seguido de una franja de 40.0 m donde se plantea una curva parabólica en perfil. Como resultado de esto, la estación No. 1 se encuentra a 176.0 m después del deprimido proyectado y a una distancia de 330.0 m de la estación proyectada de la PLMB (ver Figura 6.58).

Figura 6.58 - Alternativa 1 – Geometría de localización estación No. 1 SLMB

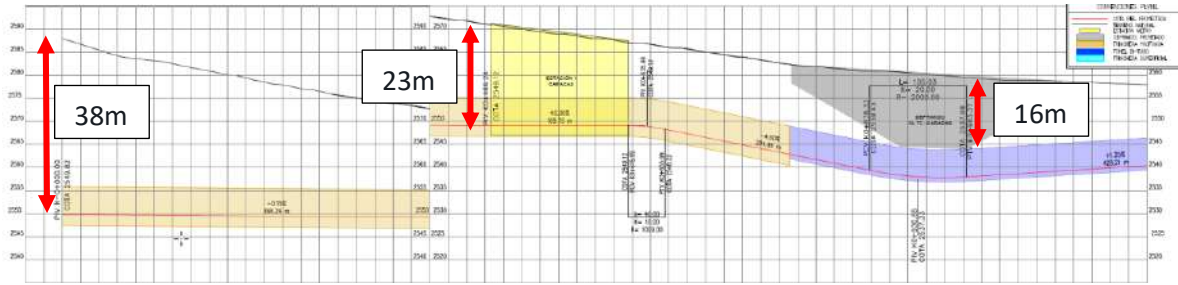


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 6.6 La longitud de la cola de maniobra satisface el requerimiento de una franja de seguridad entre la estación y el aparato de vía de 20.0 m, un desarrollo de una diagonal en 56.0 m, nuevamente 20.0 m de seguridad entre aparato de vía y posición de retorno y/o estacionamiento, la longitud de un tren en posición de retorno, una franja de seguridad de 60.0 m entre trenes, la longitud de un tren de posición de estacionamiento y una franja de seguridad entre el material rodante y el final de la línea de 20.0 m. En total, se requiere una cola de maniobra de 466.0 m, la cual se puede construir con un túnel mediante métodos convencionales dependiendo del tipo de suelo y el nivel freático o por medio de una trinchera abierta, que es el método propuesto en esta etapa del proyecto.
- 6.7 El comportamiento del trazado en perfil, está condicionado por la profundidad del deprimido proyectado, el cual contempla muros hasta de 16.0 m de profundidad. En este orden de ideas y luego de aplicar la pendiente máxima del 4%, se logra obtener una profundidad de la estación No. 1 de 23.0 m; del mismo modo, la cola de maniobra finaliza a una profundidad de 38.0 m, dado el cambio de pendiente del terreno y a la necesidad de un trazado con pendiente máxima de 0.15% para el estacionamiento de material rodante (Ver Figura 6.59 ).

Figura 6.59 Alternativa 1 de localización estación No. 1 SLMB





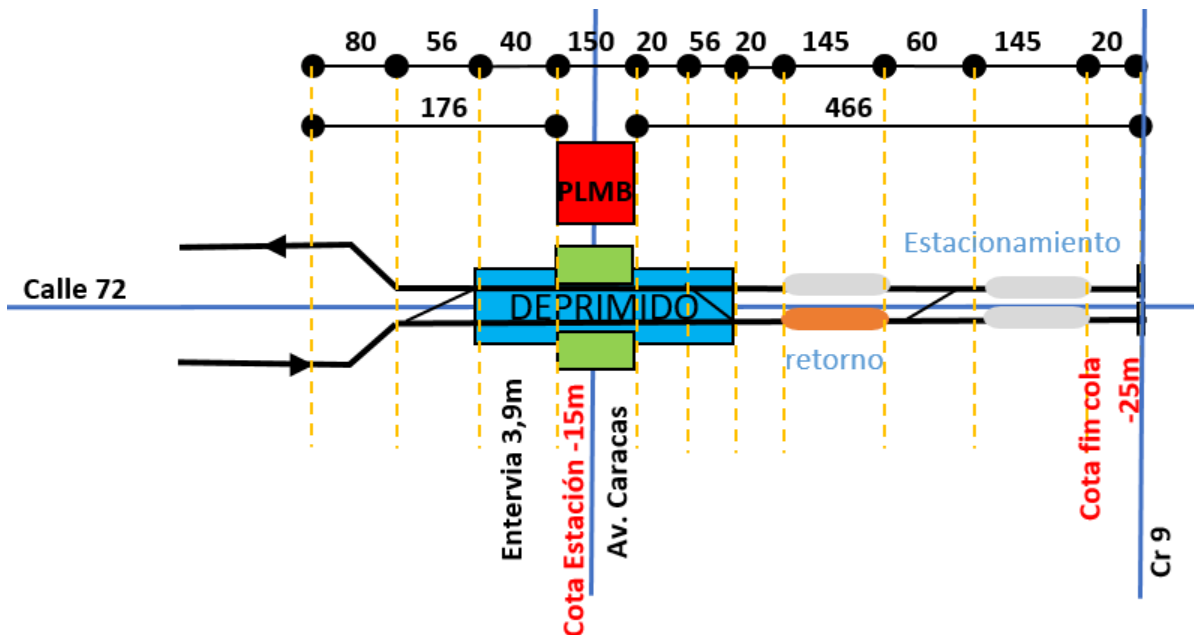
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 6.8 Luego de varias mesas técnicas de trabajo, en conjunto con la EMB y la FDN-se ha seleccionado esta alternativa como el escenario a desarrollar en diseños de prefactibilidad, evitando afectar la infraestructura planeada el proyecto PLMB-T1.

### Alternativa 2 – Con afectación a infraestructura proyectada PLMB

- 6.9 De la misma manera que la alternativa 1, se conserva una cola de maniobra de 466.0 m de longitud, con la diferencia que la presente consultoría recomienda la construcción de la estación No. 1 bajo el deprimido existente, permitiendo que la distancia entre estaciones de la PLMB y la SLMB sea la menor posible, facilitando en intercambio de pasajeros entre las dos líneas de metro.
- 6.10 También, la profundidad de implantación de la estación No. 1 de la SLMB se reduce a 15.0 m, permitiendo que la cola de maniobra finalice a 25.0 m de profundidad, reduciendo el impacto de construcción de este tramo de vía férrea al requerir trincheras de menor profundidad en comparación con la alternativa 1, sumado a que se requiere menor longitud de infraestructura metro, ya que, con este planteamiento, el trazado inicia en la carrera 9.

Figura 6.60 - Alternativa 2 – Geometría de localización estación No. 1 SLMB con afectación de infraestructura.





Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 6.11 Por lo descrito con anterioridad, se recomienda por parte de la presente consultoría el desarrollo de esta alternativa, facilitando la conexión entre pasajeros, con menor impacto en la construcción de la cola de maniobras. No obstante, se requiere de ajustes a los diseños del deprimido proyectado por el Concesionario de la PLMB-T1, cuya construcción igualmente se debería realizar al momento de construcción de la estación No. 1 de la SLMB o con la coordinación de los 2 diseños, aspectos que se deberán revisar y evaluar en las siguientes etapas del proyecto.

# 7 Reporte de trazado geométrico férreo

## Reporte trazado férreo en planta

Tabla 7.13 - Reporte trazado férreo en planta

ELEMENTO	PK	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	LONGITUD (m)	RADIO (m)	VEL (Km/h)
Recta	0+000.00	1002522.281	1006441.138	865.553		45
Espiral	0+865.55	1001808.958	1006931.394	20.000		45
Curva	0+885.55	1001792.53	1006942.801	24.816	700	45
Espiral	0+910.37	1001772.54	1006957.503	20.000		45
Recta	0+930.37	1001756.758	1006969.788	26.354		45
Espiral	0+956.72	1001736.038	1006986.074	20.000		45
Curva	0+976.72	1001720.256	1006998.358	24.792	700	45
Espiral	1+001.51	1001700.285	1007013.047	20.000		45
Recta	1+021.51	1001683.857	1007024.454	559.990		90
Espiral	1+581.51	1001222.366	1007341.653	40.000		90
Curva	1+621.51	1001189.478	1007364.42	34.549	2.000	90
Espiral	1+656.05	1001161.376	1007384.517	40.000		90
Recta	1+696.05	1001129.2	1007408.28	449.545		90
Espiral	2+145.60	1000768.474	1007676.548	70.000		90
Curva	2+215.60	1000713.533	1007719.887	16.657	410	90
Espiral	2+232.26	1000701.291	1007731.181	70.000		90
Recta	2+302.26	1000653.672	1007782.457	26.078		90
Espiral	2+328.33	1000636.476	1007802.063	50.000		85
Curva	2+378.33	1000602.756	1007838.97	30.470	410	85
Espiral	2+408.80	1000580.522	1007859.795	50.000		85
Recta	2+458.80	1000541.489	1007891.029	405.205		90
Espiral	2+864.01	1000220.029	1008137.715	40.000		90
Curva	2+904.01	1000187.988	1008161.657	67.113	520	90
Espiral	2+971.12	1000130.867	1008196.8	40.000		90
Recta	3+011.12	1000095.051	1008214.606	22.450		90

ELEMENTO	PK	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	LONGITUD (m)	RADIO (m)	VEL (Km/h)
Espiral	3+033.57	1000074.822	1008224.342	40.000		90
Curva	3+073.57	1000039.006	1008242.148	67.176	520	90
Espiral	3+140.75	999981.8338	1008277.327	40.000		90
Recta	3+180.75	999949.7961	1008301.272	610.135		90
Espiral	3+790.88	999465.8038	1008672.778	50.000		75
Curva	3+840.88	999425.3488	1008702.137	74.625	310	75
Espiral	3+915.51	999358.4339	1008734.762	50.000		75
Recta	3+965.51	999310.3885	1008748.553	21.282		75
Espiral	3+986.79	999289.782	1008753.873	50.000		75
Curva	4+036.79	999241.7366	1008767.664	170.893	310	75
Espiral	4+207.68	999103.3274	1008864.179	50.000		75
Recta	4+257.68	999073.7789	1008904.496	510.056		90
Espiral	4+767.74	998783.4294	1009323.846	40.000		90
Curva	4+807.74	998760.2966	1009356.476	40.614	600	90
Espiral	4+848.35	998734.9925	1009388.234	40.000		90
Recta	4+888.35	998708.3537	1009418.07	315.762		90
Espiral	5+204.12	998495.4506	1009651.261	40.000		90
Curva	5+244.12	998468.3172	1009680.651	43.198	1.200	90
Espiral	5+287.31	998438.1043	1009711.522	40.000		90
Recta	5+327.31	998409.3068	1009739.283	81.086		90
Espiral	5+408.40	998350.6177	1009795.234	70.000		90
Curva	5+478.40	998298.7312	1009842.193	24.627	450	90
Espiral	5+503.03	998279.2237	1009857.22	70.000		90
Recta	5+573.03	998220.5783	1009895.404	23.520		90
Espiral	5+596.55	998200.5421	1009907.723	50.000		90
Curva	5+646.55	998158.4142	1009934.642	25.678	480	90
Espiral	5+672.22	998137.669	1009949.769	50.000		90
Recta	5+722.22	998099.1602	1009981.652	237.309		90
Espiral	5+959.53	997919.0229	1010136.139	40.000		90
Curva	5+999.53	997888.9792	1010162.543	42.079	550	90
Espiral	6+041.61	997859.176	1010192.234	40.000		90
Recta	6+081.61	997832.6585	1010222.178	21.038		90
Espiral	6+102.65	997818.9028	1010238.096	50.000		88
Curva	6+152.65	997785.5197	1010275.31	36.633	450	88
Espiral	6+189.28	997759.0212	1010300.59	50.000		88
Recta	6+239.28	997720.278	1010332.185	863.853		88

ELEMENTO	PK	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	LONGITUD (m)	RADIO (m)	VEL (Km/h)
Espiral	7+103.14	997040.8236	1010865.649	70.000		71
Curva	7+173.14	996987.8881	1010911.357	344.959	250	71
Espiral	7+518.10	996963.9579	1011228.693	70.000		71
Recta	7+588.10	997009.4399	1011281.824	439.571		90
Espiral	8+027.67	997310.5611	1011602.056	40.000		90
Curva	8+067.67	997337.7671	1011631.378	42.138	1.000	90
Espiral	8+109.80	997365.3464	1011663.233	40.000		90
Recta	8+149.80	997390.4721	1011694.356	179.300		90
Espiral	8+329.10	997502.1678	1011834.615	60.000		79
Curva	8+389.10	997537.997	1011882.712	43.770	310	79
Espiral	8+432.87	997559.161	1011920.983	60.000		79
Recta	8+492.87	997580.8504	1011976.899	21.568		81
Espiral	8+514.44	997587.9979	1011997.249	60.000		81
Curva	8+574.44	997609.579	1012053.21	84.299	330	81
Espiral	8+658.74	997653.9794	1012124.598	60.000		81
Recta	8+718.74	997694.6313	1012168.698	301.994		90
Espiral	9+020.74	997905.9501	1012384.44	40.000		90
Curva	9+060.74	997934.1574	1012412.8	77.838	870	90
Espiral	9+138.57	997992.2428	1012464.576	40.000		90
Recta	9+178.57	998023.6453	1012489.351	159.313		90
Espiral	9+337.89	998149.4714	1012587.068	50.000		75
Curva	9+387.89	998188.1118	1012618.777	200.087	310	75
Espiral	9+587.97	998283.6084	1012790.662	70.000		75
Recta	9+657.97	998291.2279	1012860.206	400.899		79
Espiral	10+058.87	998319.8668	1013260.081	70.000		79
Curva	10+128.87	998322.2357	1013330.001	182.412	310	79
Espiral	10+311.29	998263.0205	1013499.762	70.000		79
Recta	10+381.29	998217.6782	1013553.04	265.358		90
Espiral	10+646.64	998038.2147	1013748.509	40.000		90
Curva	10+686.64	998010.8841	1013777.714	41.769	700	90
Espiral	10+728.41	997980.8917	1013806.776	40.000		90
Recta	10+768.41	997950.8409	1013833.174	161.468		90
Espiral	10+929.88	997828.521	1013938.577	60.000		90
Curva	10+989.88	997783.9386	1013978.715	229.421	460	90
Espiral	11+219.30	997666.2391	1014172.876	60.000		90
Recta	11+279.30	997651.2749	1014230.968	34.388		90



ELEMENTO	PK	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	LONGITUD (m)	RADIO (m)	VEL (Km/h)
Espiral	11+313.69	997643.4226	1014264.448	60.000		90
Curva	11+373.69	997628.4584	1014322.54	212.439	460	90
Espiral	11+586.13	997522.6512	1014504.58	60.000		90
Recta	11+646.13	997479.5806	1014546.336	381.135		90
Espiral	12+027.26	997200.2318	1014805.62	70.000		79
Curva	12+097.26	997150.7819	1014855.109	138.758	310	79
Espiral	12+236.02	997086.5178	1014976.783	60.000		78
Recta	12+296.02	997074.7434	1015035.591	1304.697		90
Espiral	13+600.72	996859.9936	1016322.492	40.000		90
Curva	13+640.72	996853.6604	1016361.987	41.866	1.050	90
Espiral	13+682.58	996848.3844	1016403.517	40.000		90
Recta	13+722.58	996844.6407	1016443.341	203.985		90
Espiral	13+926.57	996826.8387	1016646.547	50.000		90
Curva	13+976.57	996823.2306	1016696.412	33.088	550	90
Espiral	14+009.66	996822.8387	1016729.493	50.000		90
Recta	14+059.66	996825.2642	1016779.429	166.315		90
Espiral	14+225.97	996835.8491	1016945.406	55.000		77
Curva	14+280.97	996837.7246	1017000.355	313.613	310	79
Espiral	14+594.58	996685.6371	1017259.421	60.000		79
Recta	14+654.58	996632.1544	1017286.562	312.098		90
Espiral	14+966.68	996349.431	1017418.746	70.000		90
Curva	15+036.68	996285.2403	1017446.613	15.056	420	81
Espiral	15+051.74	996271.0274	1017451.578	40.000		81
Recta	15+091.74	996232.6608	1017462.877	183.424		90
Espiral	15+275.16	996055.9084	1017511.899	50.000		90
Curva	15+325.16	996007.5165	1017524.455	29.916	500	90
Espiral	15+355.08	995978.1464	1017530.123	50.000		90
Recta	15+405.08	995928.557	1017536.474	467.036		90
Espiral	15+872.12	995464.3804	1017588.074	20.000		45
Curva	15+892.12	995444.5963	1017590.944	103.757	100	45
Espiral	15+995.87	995370.6678	1017657.037	20.000		45
Recta	16+015.87	995365.6087	1017676.377	195.684		45
	16+211.56	995322.4241	1017867.237			45

Nota: Peralte máximo = 140mm

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Reporte trazado férreo en perfil

Tabla 7.14 - Reporte trazado férreo en perfil

PK INICIO	COTA INICIO	% ENTRADA	PK FIN	COTA SALIDA	% SALIDA	LONG (m)	RADIO VERTICAL (m)	PK INICIO
00+000.00	2549.82	0.00%	00+466.24	2549.12	-0.15%	466.24	0.00	00+000.00
00+466.24	2549.12	-0.15%	00+615.99	2549.12	0.00%	149.75	0.00	00+466.24
00+615.99	2549.12	0.00%	00+655.99	2548.32	-4.00%	40.00	1000.00	00+615.99
00+655.99	2548.32	-4.00%	00+878.33	2535.22	-4.00%	222.34	0.00	00+655.99
00+878.33	2535.22	-4.00%	00+983.37	2535.88	1.25%	105.04	2000.00	00+878.33
00+983.37	2535.88	1.25%	01+309.06	2543.31	1.25%	325.69	0.00	00+983.37
01+309.06	2543.31	1.25%	01+409.06	2543.21	-0.20%	100.00	6888.26	01+309.06
01+409.06	2543.21	-0.20%	01+730.77	2541.80	-0.20%	321.71	0.00	01+409.06
01+730.77	2541.80	-0.20%	01+801.25	2541.42	-1.08%	70.49	8012.42	01+730.77
01+801.25	2541.42	-1.08%	02+387.46	2534.41	-1.08%	586.21	0.00	01+801.25
02+387.46	2534.41	-1.08%	02+457.46	2534.41	0.00%	70.00	6483.15	02+387.46
02+457.46	2534.41	0.00%	02+673.44	2534.78	0.00%	215.98	0.00	02+457.46
02+673.44	2534.78	0.00%	02+751.48	2533.81	-2.50%	78.04	3125.00	02+673.44
02+751.48	2533.81	-2.50%	02+889.42	2526.36	-2.50%	137.94	0.00	02+751.48
02+889.42	2526.36	-2.50%	03+049.64	2528.47	2.63%	160.21	3125.00	02+889.42
03+049.64	2528.47	2.63%	03+209.94	2536.53	2.63%	160.30	0.00	03+049.64
03+209.94	2536.53	2.63%	03+279.94	2536.74	0.61%	70.00	3462.71	03+209.94
03+279.94	2536.74	0.61%	03+606.94	2538.24	0.61%	327.00	0.00	03+279.94
03+606.94	2538.24	0.61%	03+677.56	2537.90	-0.95%	70.62	4545.37	03+606.94
03+677.56	2537.90	-0.95%	04+181.19	2532.26	-0.95%	503.63	0.00	03+677.56
04+181.19	2532.26	-0.95%	04+251.19	2532.26	0.00%	70.00	7402.53	04+181.19
04+251.19	2532.26	0.00%	04+457.09	2532.60	0.00%	205.90	0.00	04+251.19
04+457.09	2532.60	0.00%	04+527.09	2532.73	0.38%	70.00	18399.15	04+457.09
04+527.09	2532.73	0.38%	05+719.96	2537.53	0.38%	1192.87	0.00	04+527.09
05+719.96	2537.53	0.38%	05+789.96	2537.53	0.00%	70.00	18399.15	05+719.96
05+789.96	2537.53	0.00%	05+984.01	2537.40	0.00%	194.05	0.00	05+789.96
05+984.01	2537.40	0.00%	06+352.70	2538.28	0.20%	368.69	0.00	05+984.01
06+352.70	2538.28	0.20%	06+422.70	2538.21	-0.20%	70.00	17387.84	06+352.70
06+422.70	2538.21	-0.20%	06+921.43	2537.14	-0.20%	498.73	0.00	06+422.70
06+921.43	2537.14	-0.20%	07+121.13	2537.14	0.00%	199.70	0.00	06+921.43
07+121.13	2537.14	0.00%	07+191.13	2537.20	0.19%	70.00	36259.92	07+121.13
07+191.13	2537.20	0.19%	07+696.72	2538.31	0.19%	505.59	0.00	07+191.13
07+696.72	2538.31	0.19%	07+766.72	2538.24	-0.20%	70.00	17602.90	07+696.72
07+766.72	2538.24	-0.20%	08+145.71	2537.40	-0.20%	378.99	0.00	07+766.72

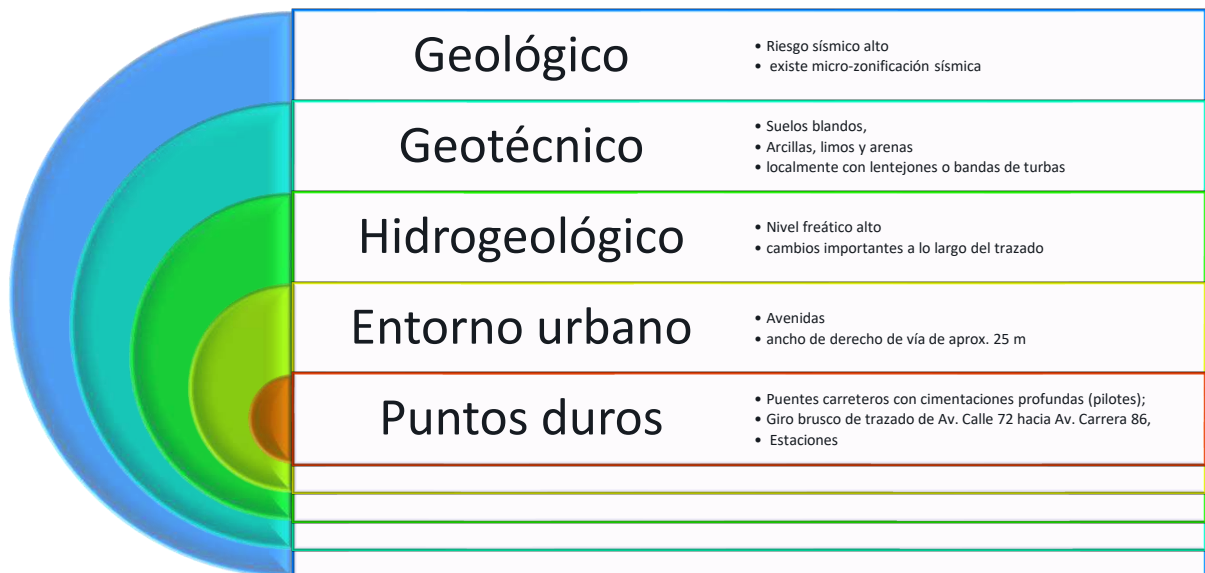
PK INICIO	COTA INICIO	% ENTRADA	PK FIN	COTA SALIDA	% SALIDA	LONG (m)	RADIO VERTICAL (m)	PK INICIO
08+145.71	2537.40	-0.20%	08+330.11	2537.40	0.00%	184.40	0.00	08+145.71
08+330.11	2537.40	0.00%	08+400.11	2537.31	-0.27%	70.00	25692.01	08+330.11
08+400.11	2537.31	-0.27%	09+085.99	2535.25	-0.27%	685.88	0.00	08+400.11
09+085.99	2535.25	-0.27%	09+155.99	2535.25	0.00%	70.00	25692.01	09+085.99
09+155.99	2535.25	0.00%	09+365.68	2535.34	0.00%	209.69	0.00	09+155.99
09+365.68	2535.34	0.00%	09+457.54	2533.75	-3.47%	91.85	2644.03	09+365.68
09+457.54	2533.75	-3.47%	09+507.14	2527.68	-3.47%	49.60	0.00	09+457.54
09+507.14	2527.68	-3.47%	09+632.34	2528.01	0.53%	125.20	3125.00	09+507.14
09+632.34	2528.01	0.53%	10+294.97	2534.08	0.53%	662.63	0.00	09+632.34
10+294.97	2534.08	0.53%	10+364.97	2534.08	0.00%	70.00	13143.83	10+294.97
10+364.97	2534.08	0.00%	10+585.54	2533.90	0.00%	220.57	0.00	10+364.97
10+585.54	2533.90	0.00%	10+655.54	2533.51	-1.11%	70.00	6332.94	10+585.54
10+655.54	2533.51	-1.11%	11+465.94	2523.45	-1.11%	810.40	0.00	10+655.54
11+465.94	2523.45	-1.11%	11+565.94	2524.59	2.28%	100.00	2957.87	11+465.94
11+565.94	2524.59	2.28%	12+403.93	2545.80	2.28%	837.99	0.00	11+565.94
12+403.93	2545.80	2.28%	12+473.93	2545.80	0.00%	70.00	3076.27	12+403.93
12+473.93	2545.80	0.00%	12+654.92	2545.00	0.00%	180.99	0.00	12+473.93
12+654.92	2545.00	0.00%	13+123.03	2543.93	-0.20%	468.11	0.00	12+654.92
13+123.03	2543.93	-0.20%	13+193.03	2544.00	0.20%	70.00	17629.16	13+123.03
13+193.03	2544.00	0.20%	14+034.92	2545.72	0.20%	841.89	0.00	13+193.03
14+034.92	2545.72	0.20%	14+239.69	2545.72	0.00%	204.77	0.00	14+034.92
14+239.69	2545.72	0.00%	14+623.13	2544.82	-0.20%	383.44	0.00	14+239.69
14+623.13	2544.82	-0.20%	14+693.13	2544.35	-1.34%	70.00	6153.58	14+623.13
14+693.13	2544.35	-1.34%	14+888.52	2540.22	-1.34%	195.39	0.00	14+693.13
14+888.52	2540.22	-1.34%	15+006.76	2541.72	2.54%	118.25	3050.12	14+888.52
15+006.76	2541.72	2.54%	15+295.85	2552.14	2.54%	289.09	0.00	15+006.76
15+295.85	2552.14	2.54%	15+385.91	2552.14	0.00%	90.06	3546.82	15+295.85
15+385.91	2552.14	0.00%	15+677.15	2551.00	0.00%	291.24	0.00	15+385.91
15+677.15	2551.00	0.00%	15+756.57	2550.37	-1.59%	79.42	4992.97	15+677.15
15+756.57	2550.37	-1.59%	15+925.30	2546.36	-1.59%	168.73	0.00	15+756.57
15+925.30	2546.36	-1.59%	16+008.38	2546.40	0.09%	83.08	4945.80	15+925.30
16+008.38	2546.40	0.09%	16+443.51	2547.45	0.09%	435.13	0.00	16+008.38

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## 8 Condicionantes en el proyecto

- 8.1 Para la selección de tipo de túnel se deben tener en cuenta diferentes restricciones en la zona de proyecto. En este capítulo se resumen los condicionantes más destacados a lo largo del trazado de la SLMB.
- 8.2 Los aspectos que se consideran a este nivel del estudio se pueden agrupar en condicionantes Geológicos, Geotécnicos, Hidrogeológicos, del entorno urbano, y los puntos duros.

Figura 8.61 Aspectos a considerar



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 8.3 En el ámbito Geológico, el proyecto se ubica en una zona de riesgo sísmico intermedio según la NSR-10 en su capítulo A.2. En las siguientes fases de proyecto se podrá tomar ventaja de la disponibilidad de una microzonificación sísmica y poder realizar análisis más detallados. En la actualidad, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 está en proceso de actualización; por lo tanto, el impacto de las modificaciones al proyecto, solo podrá ser evaluado una vez haya sido publicado el decreto de actualización.
- 8.4 La descripción geotécnica de la zona parece indicar terrenos con zonas homogéneas en macro-unidades. El suelo se podrá considerar blando (arcillas, limos y arenas ), localmente con lentejones o bandas de turbas de poco espesor y extensión lateral limitada.

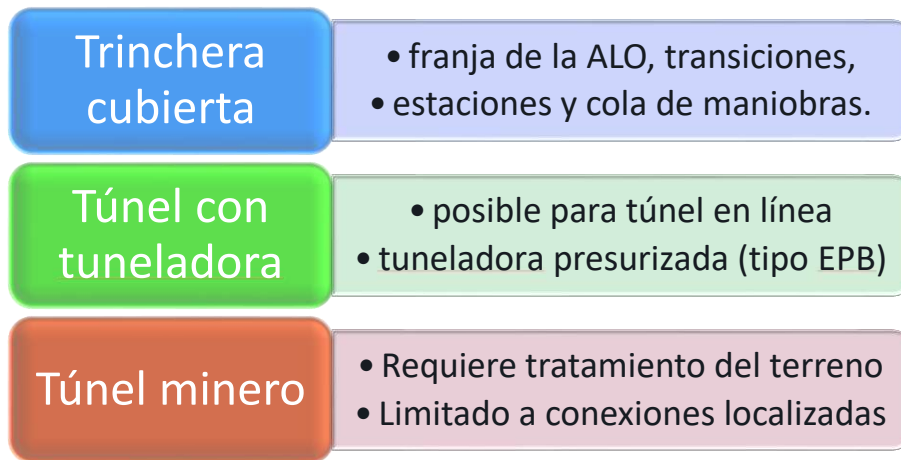
- 8.5 Las condiciones hidrogeológicas se caracterizan por un nivel freático alto con oscilaciones de nivel importantes a lo largo del trazado planteado. En el tramo final (Av. Carrera 86 y Av. Calle 127), el tramo pasa bajo o cerca de zonas de humedales. Estos humedales (Juan Amarillo y la Conejera) tienen una protección de superficie según el convenio de Ramsar, al alimentar el acuífero.
- 8.6 El entorno urbano se caracteriza en general por avenidas con ancho de derecho de vía de aprox. 25 m en la calle 72, de 40 m en la Av. Cali entre fachadas existentes, la franja de la ALO ofrece anchos entre fachadas de hasta 150 m; en varias zonas existen previsiones de construcción de plataformas y estaciones para la ampliación del sistema TransMilenio.
- 8.7 Como puntos duros, se identifican varios puentes carreteros con cimentaciones profundas (pilotes entre 20 m y 80 m de profundidad); el giro de 90° del trazado de Av. Calle 72 hacia la Av. Carrera 86, la ubicación de estaciones seleccionada por criterios de transporte, la franja de la ALO, y la consideración de zona inundable en el trecho final.



## 9 Tipo de obra subterránea

9.1 A efectos de una primera selección, se pueden distinguir los tipos de obra subterránea por su sistema de construcción (Ver Figura 9.62)

Figura 9.62 Tipos de obras subterráneas.



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

9.2 En este orden de ideas, la construcción de obras subterráneas en trinchera cubierta consiste en excavar una trinchera o pozo. En el caso de la SLMB, esta trinchera necesitará de soportes del terreno y de evacuación de aguas de la zona de obras. La profundidad de este tipo de obras depende del tipo de terreno y de la presión de agua en fase de construcción y durante la etapa de operación del Metro.

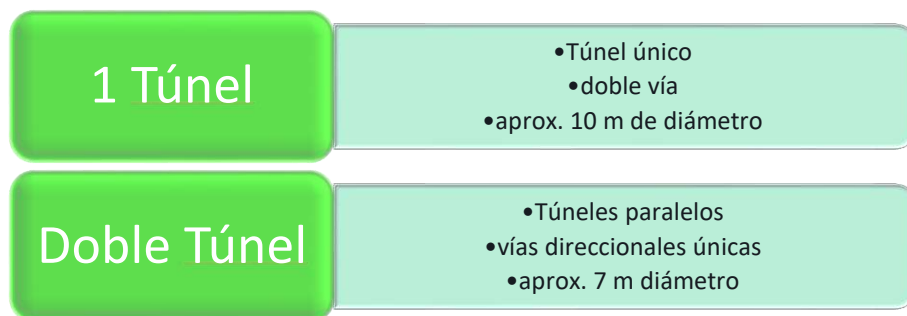
9.3 Respecto al alineamiento geométrico, el túnel en trinchera cubierto se puede adaptar a cualquier trazado en planta y perfil. En términos generales, se recomienda un relleno mínimo de 1,5 m sobre la losa de cubierta para el paso de líneas de servicios enterados (con justificación se podrá optar por otras soluciones).

9.4 El mayor inconveniente de la construcción con métodos de trinchera cubierta en zona urbana, es la afectación en superficie que requiere del desvío del tránsito y relocalización (o protección) de las líneas de servicios públicos en el entorno de las obras. El tiempo de intervención se puede reducir con métodos constructivos adecuados al caso y la utilización de elementos prefabricados de concreto.

9.5 En este proyecto, se podrá considerar la construcción de obras subterráneas en trinchera para la franja de la ALO (ver la evaluación en este informe), transiciones entre diferentes tipologías, para estaciones profundas, pozos de evacuación o ventilación y cola de maniobras.

- 9.6 Para la construcción de infraestructuras subterráneas, frecuentemente se emplean máquinas tuneladoras. El concepto fue inventado a finales del siglo XIX, a partir de los años 70 del siglo XX los fabricantes de maquinaria y las empresas constructoras especializadas empiezan a desarrollar las tipologías de modernas tuneladoras.
- 9.7 Es así como, hoy en día existen máquinas adaptadas para prácticamente todos los tipos de terreno. Para la excavación de suelos blandos bajo nivel freático se usan máquinas de frente presurizado que contrarrestan los empujes de tierra y agua; el revestimiento de túnel se construye con elementos prefabricados de concreto (dovelas) en el interior del escudo de la tuneladora. El proceso se puede considerar industrializado.
- 9.8 El tipo de tuneladora se debe elegir según las condiciones geológicas y geotécnicas del proyecto. Respecto a la sección de túnel, salvo pocas excepciones esta será circular y no variable. La utilización de tuneladoras evita afectaciones en superficie (las reduce a las zonas de construcción de estaciones y pozos).
- 9.9 Según las condiciones del suelo a lo largo del trazado, es factible la construcción del túnel en línea utilizando el tipo de tuneladora presurizada de equilibrio de presión de tierras (EPB). Este método se deberá usar en todo el tramo urbano de la SLMB y podrá ser una alternativa viable para la franja de ALO (en caso de optarse por profundizar la línea).
- 9.10 Por último, es importante mencionar las técnicas de construcción de túnel en proceso secuencial con métodos mineros. La construcción de túneles con métodos secuenciales evita afectaciones en superficie y ofrece la posibilidad de secciones variables. No obstante, su aplicación en terrenos blandos con presión de aguas freáticas requiere de mejoras de terreno antes de iniciar la construcción de túnel, para garantizar la estabilidad y estanqueidad del terreno a perforar.
- 9.11 En este proyecto, la ejecución de este método constructivo solamente será posible con tratamiento del terreno y por lo tanto no se considera como método generalizado, aplicándolo únicamente para conexiones localizadas.
- 9.12 Por otro lado, se podrá clasificar la obra subterránea por la sección típica de túnel.

Figura 9.63 Alternativas túnel



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 9.13 Las tipologías más habituales de túneles para sistemas de transporte de pasajeros tipo Metro son el túnel único de doble vía, de aproximadamente 10 m de diámetro o dos túneles paralelos de vías

direccionales únicas de aproximadamente 7 m de diámetro. El presente documento evalúa la aplicabilidad de estas dos opciones en la SLMB.

- 9.14 Como caso de ejemplo, las Líneas 9 y 10 del Metro de Barcelona en España, utilizan un túnel único de 12 m de diámetro con losa intermedia, zonas de circulación superpuestas y estaciones integradas en el tubo.
- 9.15 La selección del tipo y la sección de túnel forma parte integral de la infraestructura metro y se debe ver en conjunto con el resto de elementos que integran la misma. Por la complejidad del sistema y teniendo en cuenta la cantidad de parámetros a evaluar, se realizó un estudio multicriterio, detallado a continuación.

### Tramo en túnel profundo

- 9.16 La obra subterránea para el túnel de línea, en el tramo urbano deberá ser construido con la utilización de máquinas tuneladoras.
- 9.17 Considerando que el terreno presenta altos niveles freáticos en los tramos de la Av. Calle 72, la Av. Ciudad de Cali y la reserva vial de la ALO, la mejor opción por ejecutar la obra subterránea es la construcción por tuneladora, buscando minimizar las afectaciones en superficie como desvíos de tráfico, desvíos de redes de servicios públicos, entre otros. La construcción de la obra subterránea mediante tuneladora, igualmente reducirá posibles impactos al acuífero, evitando o minimizando posibles efectos barrera para el flujo de aguas freáticas.
- 9.18 En este capítulo, se desarrolla la metodología utilizada para la selección de un único túnel con doble vía “monotubo” o de un doble túnel con una vía direccional en cada túnel “bi-tubo”.

#### Estudio Multi Criterio

- 9.19 Teniendo en cuenta la complejidad del sistema, se utilizó una metodología de estudio multicriterio para la selección por un monotubo o por un bi-tubo, seleccionando elementos diferenciadores entre las dos tipologías de infraestructura analizadas.
- 9.20 Una vez identificados los elementos diferenciadores, se asignó un factor de relevancia o de peso para cada elemento o subcategoría. La relevancia o peso de cada elemento le fue asignado un valor entre 1 y 3. La suma de todos los pesos y, en consecuencia, la evaluación máxima fue de 30 puntos al contar con 10 categorías o elementos evaluados.
- 9.21 La determinación de los elementos y de sus relevancias, así como la evaluación se realizó por el grupo de expertos de la Consultoría asignados a este proyecto. Los valores de evaluación se normalizaron en una escala de 0 a 1, siendo el 1 el valor más favorable.
- 9.22 Multiplicando el valor de evaluación por el factor de relevancia, se obtuvo el peso ponderado de cada elemento. La suma de los pesos ponderados dio el cómputo total de resultados que fueron usados como valor de soporte para la selección de tipología de túnel (monotubo o bi-tubo).

#### Elementos del Estudio Multi-Criterio

- 9.23 Los criterios considerados en el estudio multicriterio, seleccionados por el grupo de expertos de la Consultoría, para este proyecto son:
- Obra Civil / Estructuras subterráneas

- Plan de Obras
- Estaciones
- Explotación comercial del sistema Metro
- Riesgos de construcción
- Evacuación de Emergencia
- Compra de predios

9.24 En los siguientes subcapítulos se desarrollan los detalles de cada una de estos criterios.

9.25 Igualmente, para cada subcategoría el grupo de expertos propuso un factor de peso o de relevancia. En resumen, se aprecia, que los criterios de mayor peso considerados en esta fase de estudio de la SLMB corresponden a los grupos de obra Civil / Estructuras subterráneas, Plan de Obras, Estaciones y Riesgos

#### *Obra Civil / Estructuras subterráneas*

9.26 El grupo de expertos de la Consultoría seleccionó los siguientes criterios de obra civil y estructuras subterráneas para su evaluación el estudio multicriterio:

- Volumen excavado [ $m^3/m$ ]
- Espesor recomendado de los segmentos [cm]
- Concreto para segmentos
- Concreto para relleno (fundación de las vías)
- Radio de giro de la tuneladora TBM
- Diseño de la tuneladora TBM
- Logística requerida para la operación de la tuneladora TBM
- Evacuación de emergencia

9.27 La mayoría de estos criterios es medible, y a todos se les asignó el mismo peso, con excepción del radio de giro de la tuneladora: al cual se le otorgó un peso ligeramente superior con el fin de atender la incertidumbre sobre las cimentaciones profundas de las estructuras o edificaciones existentes.

9.28 Considerando una tuneladora de diámetro de rueda de corte de aproximadamente 10 m o dos túneles construidos por tuneladora(s) con aproximadamente 7 m de diámetro de rueda de corte, se obtiene que el volumen de suelo excavado es similar para el monotubo con  $78 m^3/m$  y el bi-tubo con  $77 m^3/m$ , aproximadamente.

9.29 El espesor recomendado de los segmentos (dovelas) sería del entorno de 35 cm para el túnel de 10 m y del entorno de 30 cm para un túnel de 7 m de diámetro excavado, aunque este parámetro no es de evaluación sino de base, es importante al momento de considerar el volumen y masa de los segmentos de concreto.

9.30 El volumen de concreto necesario para la construcción de la infraestructura sería de  $10,6 m^3/m$  en caso del monotubo y de aproximadamente  $12,6 m^3/m$  para los dos túneles juntos del bi-tubo. Este concepto da una ligera ventaja al monotubo.

9.31 Al ser el túnel construido por tuneladora de sección circular, se tendrá que rellenar en concreto su parte inferior hasta llegar a una superficie uniforme para la colocación de las vías. Este relleno es

de gran volumen en caso del monotubo y de una magnitud muy inferior en caso del bi-tubo; este relleno es importante también pues cumple una función de tapón de fino al túnel.

- 9.32 El radio de giro de la máquina tuneladora podrá ser relevante para adaptar mejor el trazado para evitar cimentaciones profundas y en el giro de 90º entre la Av. Calle 72 y la Av. Ciudad de Cali. Típicamente las tuneladoras tienen diseños que se adaptan a los radios requeridos por el proyecto; no obstante, sería más adaptable en los casos del bitubo por el menor diámetro de túnel. Para los diseños de tuneladoras, hoy en día, hay diseños estándar disponibles que pueden ser adaptados a los condicionantes de un proyecto específico; por lo tanto, se podrán usar máquinas nuevas o rehabilitadas.
- 9.33 La zona y el equipamiento logísticos será casi el doble si el bi-tubo se construyera con pareja(s) de tuneladoras trabajando simultáneamente. Si no se opera con pareja(s) de tuneladoras simultáneas, se reduciría la zona logística y el equipamiento a costa de una mayor duración para la construcción de la obra civil subterránea.
- 9.34 La obra fija necesaria para gestionar la evacuación de emergencia consiste monotubo en un pozo para el caso de un monotubo y, para el caso de bitubo un túnel de conexión (o pozo alrededor del túnel) entre ambos túneles. Estas obras tienen elevados riesgos de construcción y solamente se pueden finalizar después de liberar el tramo de túnel correspondiente. Teniendo en cuenta las condiciones de terreno y nivel freático se considera la construcción del pozo y el túnel de conexión algo más compleja que la conexión entre túneles.

#### *Plan de Obras*

- 9.35 El grupo de expertos de la Consultoría seleccionó los siguientes criterios para el plan de obras y tiempo de ejecución, para la evaluación del estudio multicriterio:
- frentes de obra de las tuneladoras.
  - Estructuras auxiliares
  - Colocación de la vía férrea
  - Instalación de sistemas para la operación del túnel
- 9.36 Al nivel del estudio de pre-factibilidad, estos criterios son estimativos. En fases futuras de este proyecto, se deberá disponer de mayor información que permita una evaluación más objetiva.
- 9.37 En el caso de monotubo se propone trabajar en tantos tramos o frentes de perforación como tramos de inter-estaciones existan, para la sección construida con una tuneladora (o dos tuneladoras dependiendo de la longitud total de recorrido). Para el bi-tubo el número de tramos o frentes de perforación será el doble que los tramos inter-estaciones; si se usan parejas de tuneladoras, la segunda podrá empezar y terminar entre 1 a 2 meses después de la primera tuneladora en el mismo tramo. En caso de usar solamente una tuneladora (o dos tuneladoras dependiendo de la longitud total de recorrido) el tiempo de perforación será más del doble que para el monotubo al añadirse el tiempo para el reinicio de perforación.
- 9.38 Las estructuras auxiliares para el sistema de monotubo consisten en pozos y túneles de acceso a los pozos de salida de emergencia, para el bi-tubo las estructuras auxiliares se limitarían a conexiones entre túneles.



- 9.39 En el monotubo, la construcción de la placa de la vía se concentra en una única operación de grandes volúmenes, la colocación de la vía no podrá ser simultánea para ambas vías. Para el bi-tubo la colocación de vía en cada túnel puede ser programada de manera independiente.
- 9.40 La instalación de sistemas ferroviarios y no-ferroviarios será bastante lineal en caso del monotubo. Para el bi-tubo la gestión de la instalación de sistemas ferroviarios y no-ferroviarios puede ser manejado de forma independiente.

#### *Estaciones*

- 9.41 “A priori” el grupo de expertos de la Consultoría seleccionó los siguientes criterios de estaciones subterráneas para su evaluación el estudio multicriterio:
- Tipo de andén o plataforma (laterales o centrales)
  - Tipo de Estructura
  - Ancho
  - Profundidad
  - Instalaciones mecánicas, eléctricas y fontanería (MEP)
- 9.42 Al nivel de estudios de prefactibilidad, estos criterios son estimativos. En fases posteriores del proyecto, serán elementos que se podrán desarrollar con mayor detalle. Teniendo en cuenta los condicionantes hidrogeológicos y geotécnicos, así como los condicionantes urbanísticos, se ha dado un mayor peso a los criterios geométricos de ancho y profundidad de las estaciones.
- 9.43 La infraestructura de un monotubo implica que la estación dispondría de andenes laterales, para la infraestructura de bi-tubo las estaciones dispondrían de andén central. Ambas soluciones son perfectamente válidas para sistemas de Metro. Se seleccionaron algunos criterios de evaluación de estaciones mencionados (Tipo de andén o plataforma, tipo de Estructura, ancho, profundidad e instalaciones mecánicas, eléctricas y fontanería).
- 9.44 Es así como, la geometría de las estructuras de estaciones con andenes laterales depende de la ubicación del transporte vertical; la geometría de estaciones con andén central puede ser ajustada en el centro y teniendo más ancho en muros frontales donde se produciría la entrada y salida de las tuneladoras.
- 9.45 Teniendo en cuenta los parámetros geotécnicos de los suelos esperables en la zona de proyecto, combinado con nivel freático alto, la profundidad de excavación es un argumento a tener en cuenta. Considerando un diámetro de cobertura sobre clave de túnel, la cota riel del monotubo se proyecta a 17 m de profundidad, llevando la cota de excavación a un nivel de aproximadamente 22 m de profundidad respecto a la rasante del terreno. La cota riel del bi-tubo podría estar en 13 m de profundidad con un nivel de excavación del entorno de 15,5 m bajo superficie. Estas estimaciones son preliminares sin tener en cuenta detalles de arquitectura, equipamiento de las estaciones, así como la reposición de redes de servicios públicos en superficie.
- 9.46 Para las Instalaciones mecánicas, eléctricas, fontanería (MEP) y sistemas de información al viajero (megafonía, señalización fija y variable, etc.), las plataformas laterales requieren más equipos. La plataforma de la isla o plataforma central permite compartir estos equipos. Este elemento se considera relevante en explotación ferroviaria.

### *Explotación de Metro*

- 9.47 El grupo de expertos de la Consultoría seleccionó los siguientes criterios de explotación para su evaluación el estudio multicriterio:
- Estaciones, costos de operación y mantenimiento (OPEX)
  - Operación en modo degradado
- 9.48 De forma preliminar, se hace una evaluación cualitativa (no cuantitativa) de los costos de operación y mantenimiento (OPEX), en especial de las estaciones. A favor del OPEX, se encuentran las estaciones con andén central de la opción bi-tubo, por esta la menor cantidad de equipos de transporte vertical de pasajeros (ascensores y escaleras mecánicas) y la probable menor profundidad de las estaciones. Este criterio tiene mayor relevancia que el otro criterio considerado en este criterio.
- 9.49 En la evaluación de la fase de explotación de Metro se ha considerado también la operación en modo degradado. En el monotubo, el tren puede retroceder fácilmente por aparatos de vía dentro del túnel; mientras en bi-tubo se requiere la construcción de recintos de conexión entre los dos tubos y la longitud de vía para los cambios será más larga.

### *Riesgos de construcción*

- 9.50 Los siguientes criterios de riesgo de construcción de obras subterráneas fueron objeto de evaluación en el estudio multicriterio:
- Frente mixto
  - frentes de obra de las tuneladoras.
  - Ancho de la cubeta de subsidencia regional
  - Profundidad de la cubeta de subsidencia regional
- 9.51 Se ha dado un peso mayor al riesgo de frente mixto por la incertidumbre en el conocimiento actual sobre los detalles geotécnicos a lo largo del trazado. También, se da un mayor peso en la evaluación de la profundidad de la cubeta de subsidencia al discurrir el tramo por zona urbana con la posibilidad de existir trechos cortos bajo zonas edificadas.
- 9.52 El riesgo de frente mixto es función del diámetro de la tuneladora empleada y la capacidad de evitar zonas conflictivas. Teniendo en cuenta las incertidumbres sobre el detalle geológico-geotécnico de la zona de proyecto, se ha dado mayor importancia este riesgo. En fases posteriores del proyecto se obtendrá una mejor visión sobre este riesgo.
- 9.53 En esta fase y al ser el trazado de eje único, no se propone la evaluación de los tramos de perforación. No obstante, cabe mencionar que la excavación del segundo túnel se desarrolla con menor incertidumbre al beneficiarse de las lecciones aprendidas en el primer túnel en un sistema bi-tubo.
- 9.54 La anchura de la cubeta de subsidencia es función de la profundidad del túnel. La forma de la cubeta es de curva simple de campana inversa para el monotubo y de forma más compleja para el bi-tubo, también está en función de la profundidad de los túneles.
- 9.55 A este nivel de estudio y teniendo en cuenta las incertidumbres geológico-geotécnicas se llega a evaluaciones similares para las dos propuestas a nivel de fachada. En fases posteriores del proyecto

se podrá obtener una mejor visión sobre este riesgo, una vez se cuente con información de estudios geotécnicos.

#### *Evacuación de Emergencia*

- 9.56 El grupo de expertos de la Consultoría consideró oportuno incluir entre los criterios de evaluación las opciones de evacuación de emergencia para la evaluación el estudio multicriterio:
- Desplazamiento hasta un lugar seguro
  - Zona de evacuación
- 9.57 La distancia de desplazamiento hasta un lugar seguro viene definida por la reglamentación nacional, recomendaciones internacionales y/o de operadores de Metro. Considerando la normativa NFPA-130, se tiene que para el caso de monotubo se debe disponer de pozos de evacuación a superficie cada 762 m. En caso del bi-tubo puede haber conexiones entre túneles cada 250 m aproximadamente. Aun siendo ambas soluciones aceptables por la normativa consultada, se ha considerado la menor longitud recorrida a una zona seguro algo más favorable, no del todo compensado por la sección de túnel más amplia.
- 9.58 La zona de evacuación puede ser desarrolla en los pozos de salida de emergencia y en las estaciones. Considerando que en este nivel de estudio no se cuenta con detalles sobre la ubicación de estos pozos, se ha prescindido de usar este criterio para la evacuación. Cabe mencionar que las aperturas a superficie pueden ser un elemento de difícil integración urbana y de riesgo de seguridad por intrusión no autorizada.

#### *Adquisición predial*

- 9.59 El grupo de expertos de la Consultoría seleccionó los siguientes criterios de afectación temporal y permanente a la propiedad privada para su evaluación el estudio multicriterio:
- Ancho de la servidumbre subterránea
  - Adquisición y ocupación de predios
  - Ocupación temporal de predios
- 9.60 Para definir el ancho de la servidumbre subterránea, se ha tomado un ancho de medio metro adicional al ancho de la infraestructura (11 m para el monotubo y un total de 22 m para el bi-tubo). En función de la capacidad resistente del suelo, el ancho de servidumbre para bi-tubo podría reducirse (un mínimo de aproximadamente a 18,5 m), para el bi-tubo también sería posible crear corredores independientes bajo calles paralelas. A este nivel de estudio y a falta de la definición de una zona de protección ferroviaria no se ha incluido esta zona como criterio de evaluación
- 9.61 A priori, se considera que la adquisición y ocupación de terrenos será más complejo y en más lugares para el monotubo, teniendo en cuenta la geometría y disposición de estaciones y la necesidad de construir pozos de salida de emergencia para el monotubo.
- 9.62 La ocupación temporal de terrenos será mayor para el bi-tubo, si se consideran áreas logísticas de túnel más grandes que permiten la explotación simultánea de dos tuneladoras. Igualmente, se tendrá zonas de ocupación temporal de superficie para los tratamientos de terreno previos a la construcción de las conexiones entre túneles.

### Selección basada en Estudio Multicriterio

- 9.63 Aplicando la metodología del estudio multicriterio de los elementos antes enumerados y multiplicando cada uno de ellos por su peso relativo, se obtuvo la evaluación respectiva, cuyo resumen permite dar la recomendación de selección de tipo de infraestructura subterránea entre mono tubo de 10 m de diámetro de excavación o bi-tubo de dos túneles con 7 m de diámetro de excavación cada uno.
- 9.64 Para el estudio multicriterio, se consultó un grupo de expertos de la Unión temporal para evitar el riesgo de análisis sesgado. Algunos de los parámetros evaluados son objetivos (medibles) y otros son más bien de evaluación subjetiva. La relevancia o el peso relativo de los parámetros se basa en la experiencia obtenida en proyectos de condicionantes similares, contenido en la Tabla 9.15 Análisis Multicriterio y cuyo soporte se anexa al presente documento.

Tabla 9.15 Análisis Multicriterio

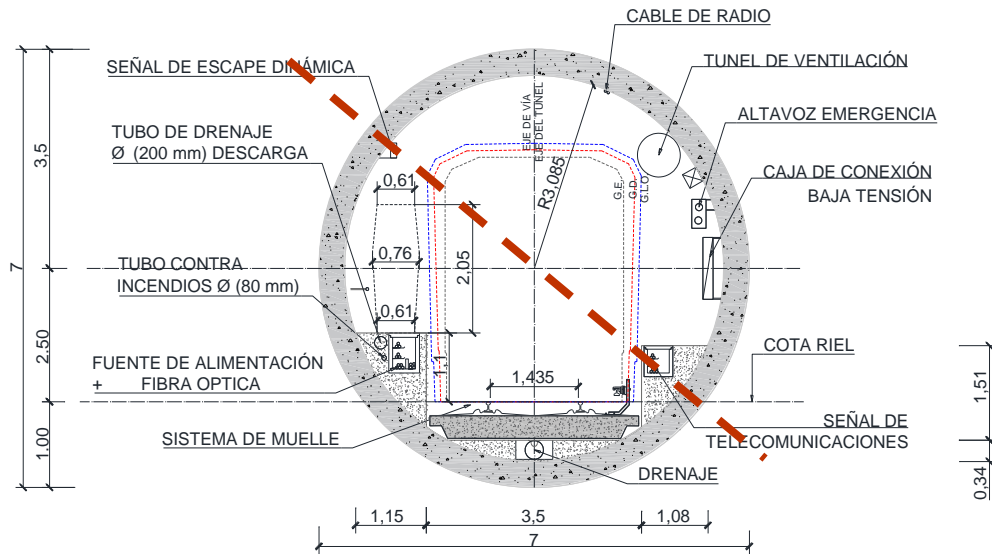
Criterio	Relevancia	Túnel Ø10m	2 túneles Ø 7m
CIVIL / ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS	7,00	5,50	6,40
PLAN DE OBRAS	5,00	4,30	4,30
ESTACIONES SUBTERRANEAS	5,00	2,90	5,00
EXPLOTACIÓN COMERCIAL DE METRO	3,00	2,50	2,90
RIESGOS CONSTRUCTIVOS	5,00	3,80	4,30
EVACUACIÓN DE EMERGENCIA	2,00	1,50	2,00
ADQUISICIÓN PREDIAL	3,00	2,50	2,20
<b>TOTAL</b>	<b>30,00</b>	<b>23,00</b>	<b>27,10</b>

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 9.65 El resultado anterior, indica que las dos tipologías de infraestructura subterránea estudiadas propuestas son perfectamente válidas. Se obtiene que la tipología de bi-tubo es, para este caso, la propuesta que reúne más ventajas y, por lo tanto, es la solución recomendada.
- 9.66 En una tipología bi-tubo se requieren dos tuneladoras, una para cada tubo. Sin embargo, cada tuneladora es más pequeña, en comparación al mono tubo, y el volumen total excavado es globalmente similar.
- 9.67 La operación de las tuneladoras tendrá un ligero desfase para evitar que los escudos de las tuneladoras estén uno al lado del otro. Para efectos de planificación, se considera que las tuneladoras se encuentren suficientemente espaciadas, se requiere dos meses entre el arranque de excavación de las tuneladoras.
- 9.68 Teniendo en cuenta la información disponible sobre la tipología de suelo, se pueden esperar rendimientos de excavación entre 400 y 500 m/mes (al ser los materiales muy homogéneos se podrá esperar que un contratista experimentado con las condiciones geotécnicas obtenga rendimientos muy superiores de 800 a 1000 m/mes o aún mejores), lo que se traduce en que la duración de las operaciones de excavación sea entre 28 meses y 35 meses.

9.69 Por otro lado, los elementos que mayor impacto generan sobre el ancho de túnel son el ancho de vehículo y el ancho de los otros elementos de evacuación, ventilación y comunicación en el interior del túnel, especialmente la pasarela de evacuación y los gálibos de Material Rodante, se debe tener en cuenta que el plano más restrictivo no es horizontal, sino un plano rotado 45° sobre centro del círculo. (El que tocaría la cabeza de la persona circulando por la pasarela).

Figura 9.64 – Plano restrictivo sección túnel-bitubo



**SECCIÓN TIPO BI-TUNEL RECTA:**

**NOTAS:**

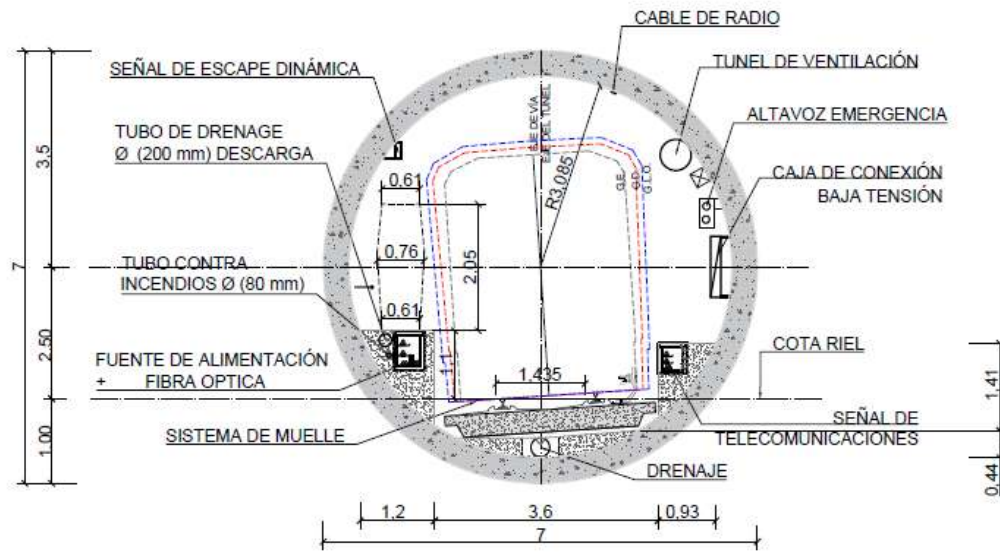
- G.E. (GÁLIBO ESTÁTICO)
- G.D. (GÁLIBO DINÁMICO)
- G.L.O. (GÁLIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 9.70 En este orden de ideas, manteniendo constante el ancho de pasarelas, generando una reducción del ancho de vehículo en 20 cm nos daría una reducción de entre 5 cm y 7 cm sobre radio (es decir menos de 14 cm sobre diámetro).
- 9.71 El túnel de Metro más pequeño es "the Tube" del sistema Metro de Londres, el cual no tiene pasarelas laterales. El techo del vehículo es casi concéntrico con el túnel y las puertas del tren entran en la parte superior en el techo del vehículo. Así, se obtienen diámetros de túnel inferiores a 4,00 m; obviamente esto hoy en día es difícilmente justificable por temas de evacuación de emergencias (NFPA-130 u otra normativa similar).
- 9.72 También, se debe considerar que las cajas de vehículos de trenes hoy en día son bastante estandarizadas. Utilizar material móvil típico reduce costos de adquisición y de mantenimiento, por tal razón lo normal en nuevos proyectos de Metro, es la utilización de material rodante estándar, adaptado a las condiciones específicas de proyecto.
- 9.73 Es por lo anterior, que el diámetro de la tuneladora no es un limitante, ya que puede ser de menos de 5m hasta más de 15m de diámetro de excavación.
- 9.74 Trenes más largos (1 vehículo más por tren) significan impactos importantes sobre el diseño de estaciones y del patio taller para todas las fases de construcción y mantenimiento.



Figura 9.65 Sección típica de un tubo



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Tramo en Trinchera Cubierta

- 9.75 El tramo de la SLMB en el corredor de la reserva vial de la ALO tiene como condicionantes los siguientes elementos:
- Franja amplia de hasta 150 m entre fachadas.
  - Pocas calles transversales y pocas redes de servicios públicos
  - Nivel freático elevado
  - Localización entre dos zonas de protección hídrica del Convenio de Ramsar (Humedal Juan Amarillo y Humedal la Conejera).
- 9.76 Las condiciones de este tramo, permiten sugerir una propuesta técnica específica mediante túnel en trinchera cubierta con una cota riel a 6m de profundidad desde el terreno existente con menor impacto y menos costo que el túnel bi-tubo. No obstante, en este tramo es completamente factible la construcción de túnel con TBM.
- 9.77 Al disponer de una franja amplia, sin edificios o líneas de servicios de importancia, no se prevén riesgos elevados por la construcción del túnel entre pantallas.
- 9.78 Por otro lado, la continuidad del nivel freático se verá poco alterado (especialmente si se usa el bi-tubo de vías únicas direccionales), limitando el efecto barrera a efectos locales en la zona de estaciones.
- 9.79 La extensión en distancia de trabajo de tuneladora podría afectar el plazo de ejecución o requerir máquinas tuneladoras adicionales.

### **Túnel construido en trinchera cubierta**

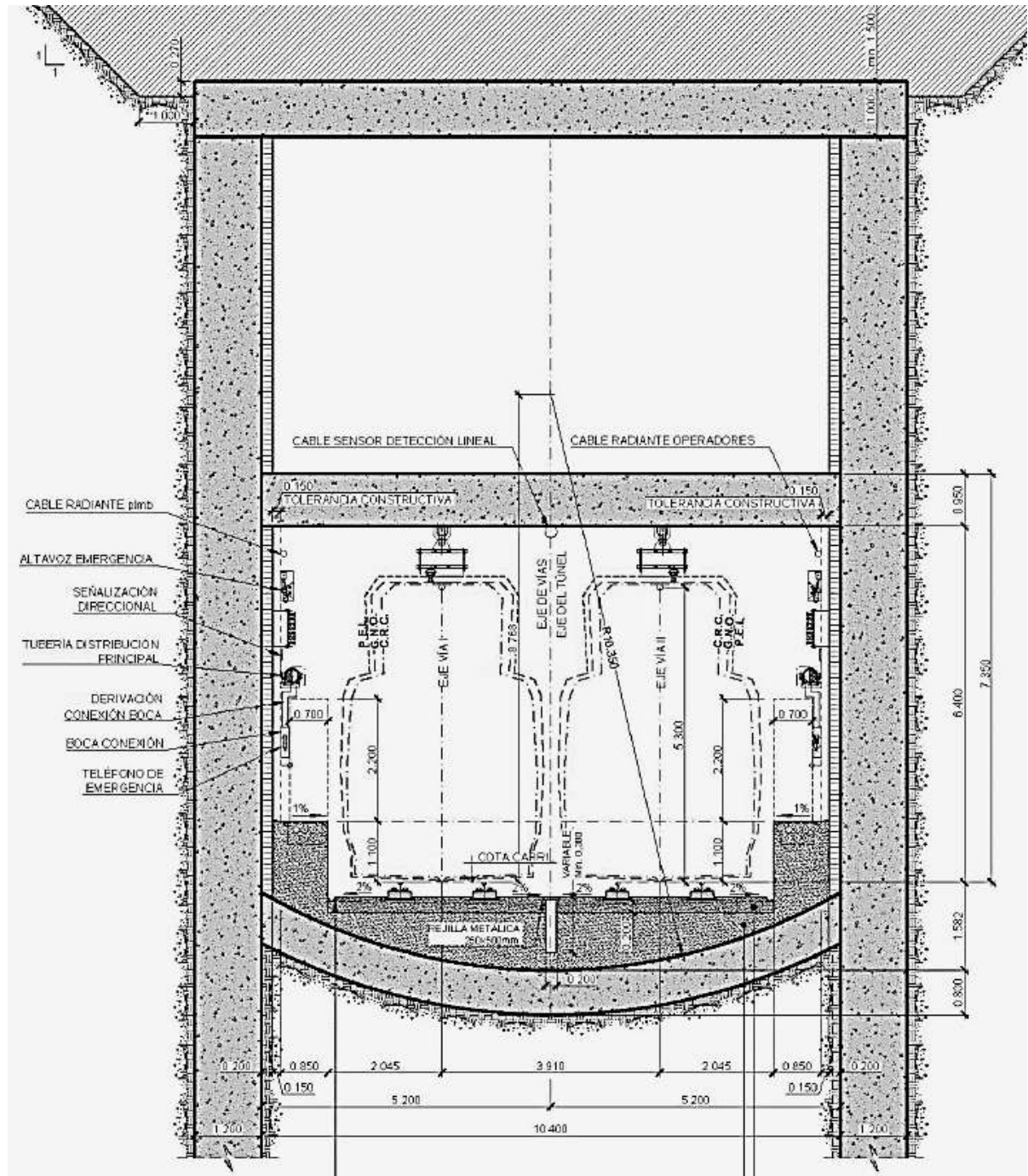
- 9.80 Para este tramo, esta consultoría recomienda la construcción de un túnel en trinchera cubierta (Cut & Cover) con muros pantallas de 1.0 m de ancho, considerando que no se prevén riesgos generados por la construcción del túnel al disponer de una franja amplia sin edificios o líneas de servicios de agua potable de importancia. Sin embargo, la solución del sistema de drenaje y redes de aguas servidas se deberá verificar en las siguientes etapas del proyecto, en especial el cruce del Canal Cafam.
- 9.81 Así mismo, la afectación al nivel freático se podrá minimizar elevando el trazado de la infraestructura lo máximo posible. Las opciones para elevar la estructura podrán ser:
- Reducir la cobertura sobre estructura donde no se prevé el paso de líneas servicios y especialmente en estaciones.
  - Verificar la sección interior del cajón dando preferencia a instalaciones laterales en vez de instalaciones sobre gálibo de Material Rodante.
  - Permitir la sobre-elevación del terreno entre 1 a 2 m sobre la cota actual, lo que podría ser una buena opción para el desarrollo paisajístico de la franja ALO, utilizando material apto procedente de la excavación. Esta opción ha sido descartada de momento, pero consideramos que debería ser estudiada en una fase posterior para sustentar el descarte de esta alternativa y analizar los beneficios que esta solución podría tener en el proyecto.
- 9.82 Adicionalmente, se podrá realizar la excavación con tablestacas y bombeo entre ellas en fase de construcción. Una vez terminada la estructura se podrán retirar las tablestacas, restableciendo así el flujo de las aguas subterráneas, reduciendo así también el impacto sobre el nivel freático en fase de obras (menor bombeo) y en fase definitiva (menor efecto barrera).
- 9.83 Además, las estaciones serán de un único nivel subterráneo, con andenes laterales, organizando el tráfico de pasajeros y espacios técnicos en un edificio de estación sobre superficie. Si fuera de interés para el proyecto y la ciudad, se puede aumentar la función del nodo, realizando un planteamiento DOTS, tanto en el edificio, como en su entorno.
- 9.84 La construcción de la infraestructura con métodos estándar no requiere de la especialización que se necesita para operar tuneladoras y, además, permite la participación de empresas de la industria nacional. Al disponer de un tramo en construcción sin tuneladoras, también se prevé un efecto positivo sobre el plazo al poder trabajarse esta zona en paralelo al resto de obras de la Línea 2 del Metro de Bogotá.
- 9.85 Una vez terminada la construcción de las infraestructuras subterráneas, se podrá proceder con un desarrollo paisajístico de la franja ALO, conectando con un corredor verde las zonas de humedales Juan Amarillo y la Conejera.
- 9.86 Finalmente, la menor profundidad de las estaciones reducirá el OPEX por requerir de menor costo en iluminación, ventilación y transporte vertical de los pasajeros.

### **Sección**

- 9.87 Para la Unión temporal Egis-Steer la mejor opción para el tramo de SLMB bajo la franja ALO sería un túnel somero construido en trinchera cubierta (Cut & Cover) con estaciones de un único nivel subterráneo y estación en superficie. Para el predimensionamiento de los muros pantalla, se usó

como referencia el proyecto metro L1, en su versión subterránea, en el cual se plantea un túnel con cota riel, la cual se encuentra aproximadamente a 16 m de profundidad y propone muros pantalla de 1.2 m de ancho (Ver Figura 9.66).

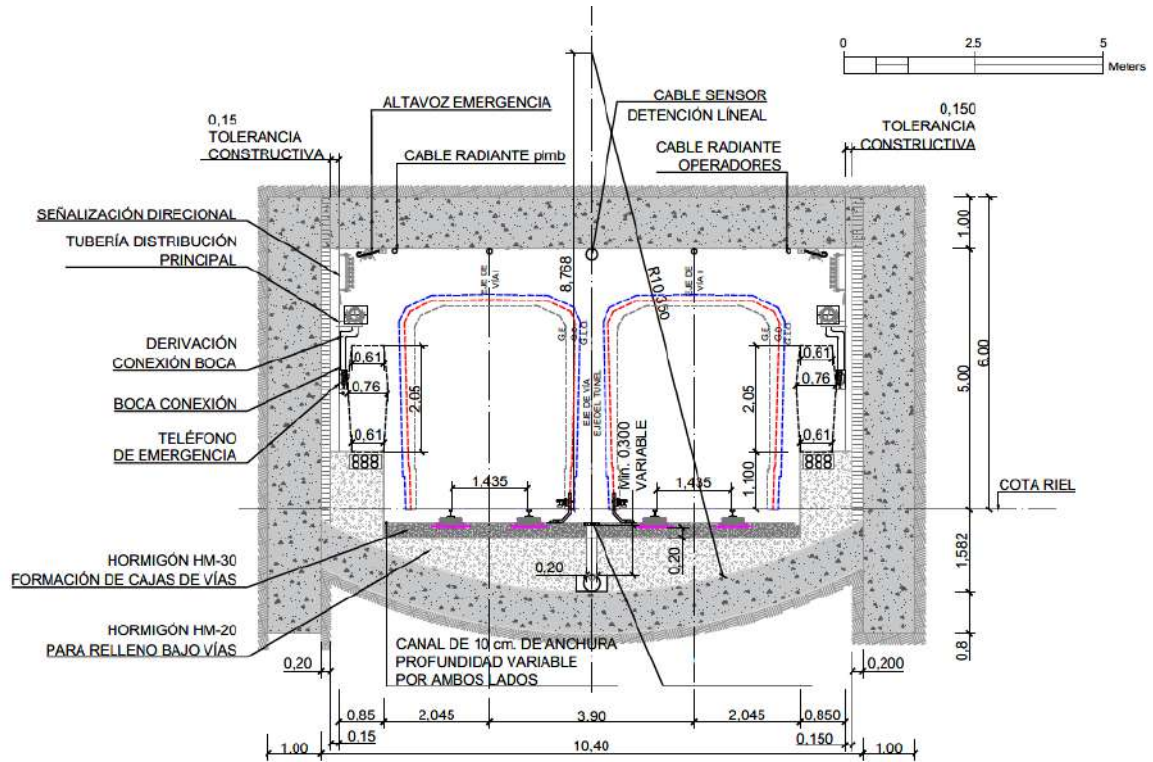
Figura 9.66 Metro subterráneo L1-Bogotá



Fuente: Metro subterráneo Bogotá 202006-DE-PR06-PRES-01-00

- 9.88 Considerando que el túnel en el tramo de la ALO presenta una cota riel del 6 m de profundidad, se estima que el espesor de los muros es de 1.0 m, el cual permite resistir los esfuerzos horizontales del terreno sobre los muros.
- 9.89 El volumen excavado sería alrededor de 230 000 m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta la experiencia de la Consultoría en obras similares, la duración de obra para el tramo con este tipo de infraestructura estaría entre 24 meses y 36 meses.

Figura 9.67 Sección típica de trinchera cubierta



**SECCIÓN TIPO TUNEL ENTRE PANTALLAS RECTA:**

- NOTAS:**
- G.E. (GALIBO ESTÁTICO)
  - G.D. (GALIBO DINÁMICO)
  - G.L.O. (GALIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Tramo en Trincheras Cubiertas cola de maniobras**

- 9.90 El tramo de la SLMB en el corredor de la calle 72 desde la carrera 7 y la Av. Caracas (Previo a la zona de inicio del deprimido proyectado por la PLMB) se plantea la construcción de la cola de maniobra mediante un túnel único en trinchera cubierta, el cual tiene como condicionantes los siguientes elementos:

- Distancias entre fachadas reducida de hasta 48 m;
- Corredor de la calle 72 con elevado flujo vehicular;
- Edificios de gran altura y sótanos profundos;
- Alta densidad de redes de servicios públicos y de comunicaciones;
- Nivel freático elevado;



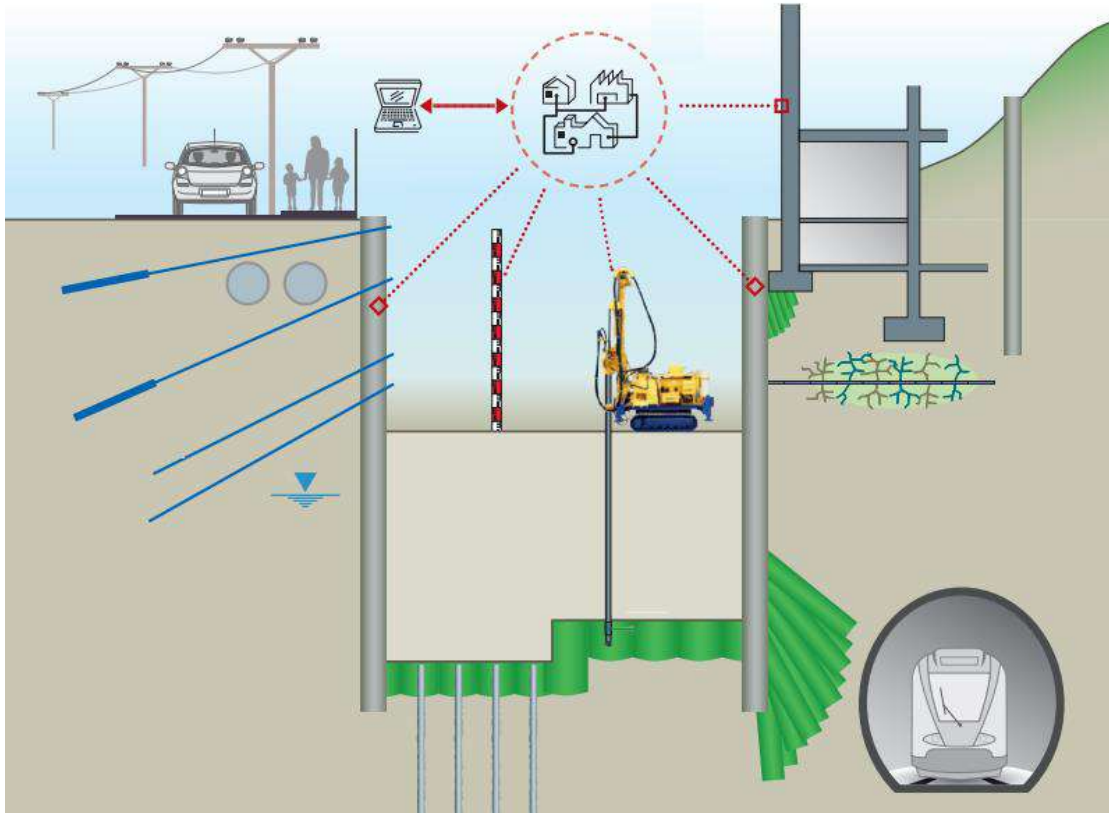
- Tipo de suelo de piedemonte

- 9.91 Las condiciones generadas por el deprimido proyectado de la PLMB, obligan que la cota riel de la SLMB se profundice de modo tal que la estructura del túnel pase bajo la estructura proyectada; por esta razón se requieren de una propuesta técnica específica mediante túnel en trinchera cubierta (Cut & Cover), con una cota riel que varía entre a 16 m al inicio deprimido y 38 m, permitiendo reducir la distancia de aparatos de vía antes y después de la estación No. 1 y por ende, se reduce la longitud de cola de maniobras en comparación de un túnel bi-tubo construido con TBM.
- 9.92 Al no disponer de una franja amplia, con edificios o líneas de servicios de importancia, se prevén retos importantes para la construcción del túnel entre pantallas, que van desde lo logística en superficie, hasta el desarrollo de excavaciones hasta de 38 m de profundidad.
- Por otro lado, la continuidad del nivel freático se verá alterado al generarse el efecto barrera a lo largo de este tramo. En consecuencia, es importante que se realice un estudio detallado en las siguientes fases del proyecto, que permitan evaluar los impactos que genera esta estructura a las aguas subterráneas y poder encontrar una solución técnica para mitigar este impacto.
- Al final de la cola de maniobra, se requiere de la construcción de un pozo de salida, el cual será tan pequeño como las partes de la tuneladora lo permita.
- 9.93 La excavación de la cola de maniobras se puede realizar mediante ejecución de muros pantalla, cuya secuencia de trabajos exige un equipo de excavación especializado que requiere más espacio disponible en comparación con otros métodos constructivos.
- 9.94 El proceso constructivo comprende las siguientes operaciones:
- 9.95 Murete guía: Corresponde al soporte temporal formado por dos vigas paralelas, suele construirse en concreto armado y sirve para mantener la alineación horizontal y la continuidad de la pantalla. Además, es importante ya que los niveles de lodo varían durante la construcción y el primer metro de la pared de la excavación tiende a ser inestable. El murete guía también ayuda a guiar la cuchara y a posicionar la estructura final.
- 9.96 Excavación: Para evitar que las paredes de la zanja colapsen durante la excavación, se rellena con lodo bentonítico, una suspensión espesa pero líquida que, al proporcionar presión hacia el exterior, equilibra las fuerzas hidráulicas internas y también retarda el flujo de agua hacia la zanja.
- 9.97 Encofrado: Estos encofrados se disponen verticalmente, bien fijados y empotrados en el fondo, para evitar que se produzcan movimientos y que se deslice el concreto fresco por la base
- 9.98 Colocación de las armaduras de los bataches: La armadura de refuerzo típicamente está suspendida de los paneles del murete guía, y debe tener suficiente refuerzo transversal y diagonal para permitir ser izada y bajada a su posición.
- 9.99 Colocación de la junta: Para efectuar la colocación de la junta entre paneles, se utilizan encofrados metálicos de junta lateral, los cuales se colocan antes de vaciar el concreto para moldear las juntas. De esta manera se asegura la continuidad de la excavación y se utiliza de guía para la perforación del panel. Las juntas pueden ser planas, circulares, con vigas de acero, generalmente, se usan juntas de tipo acanalado con topes de agua.



- 9.100 Luego, vaciar el concreto en el batache desde abajo hacia arriba usando tubería tremie y después de descubiertas las armaduras se construye la viga de coronación, bien robusta, con una altura aproximada de 1 m, en la cual se dejan los anclajes de los soportes de la estructura.
- 9.101 Se repite este conjunto de actividades a lo largo de la cola de maniobras, hasta alcanzar la profundidad requerida en cada tramo.

Figura 9.68 Excavación cola de maniobras



Fuente: Keller cimentaciones S.L.U.

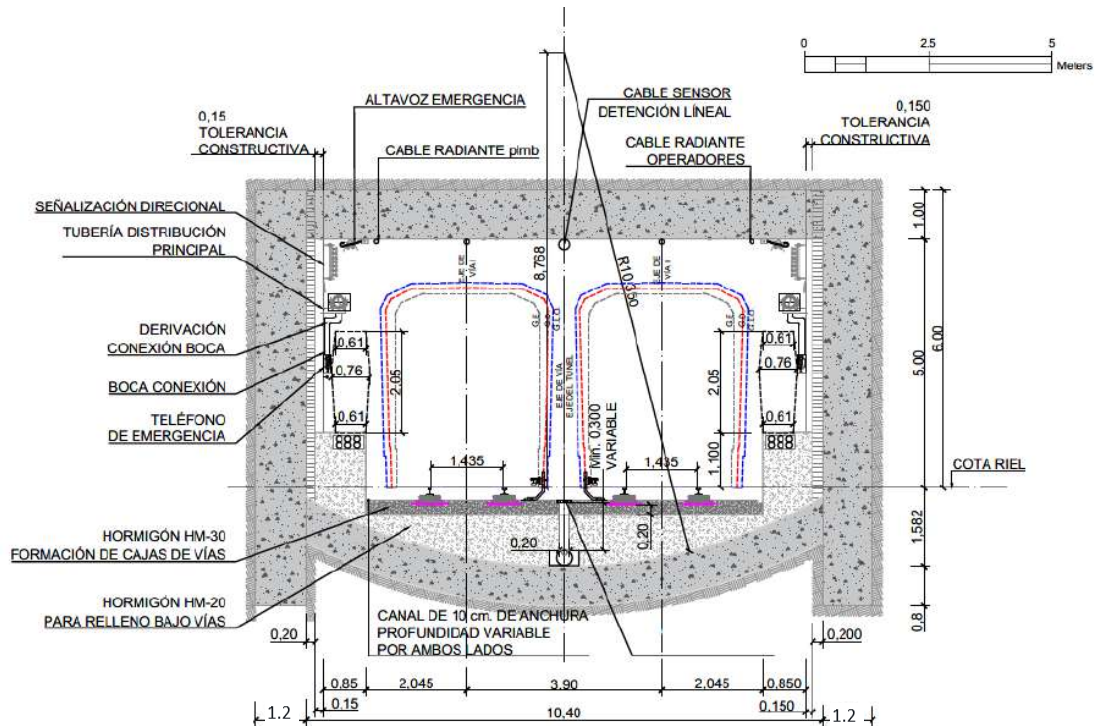
- 9.102 Los muros pantalla, por lo general trabajan a la flexión, por tal razón es importante la cuantía de la armadura. Siempre debe comprobarse el cálculo de la pantalla para asegurar su correcto dimensionamiento.
- 9.103 Durante la excavación, como en cualquier cimentación profunda, debe considerarse la existencia del nivel freático alto. La existencia de agua (en relación a los esfuerzos) provoca una disminución de las propiedades y las características resistentes en suelos saturados y también genera una presión adicional sobre el frente de la excavación.
- 9.104 Por tal razón, es conveniente realizar un estudio hidrológico donde se indique la forma de efectuar su extracción, permitiendo especificar en cada caso el tipo y número de bombas, los caudales máximos.
- 9.105 Para realizar los trabajos de excavación siempre resulta más sencillo construir una pantalla perimetral continua, empotrada en un sustrato impermeable o disminuyendo el tenor hidráulico.

Después de finalizar el recinto perimetral, se procede a extraer el agua mediante Pozos de Bombeo o Well-Point

### Sección

- 9.106 Para las condiciones planteadas por la infraestructura ajena a la línea 2, la mejor opción para el tramo de la cola de maniobras sería un túnel somero construido en trinchera cubierta (Cut & Cover), donde la estación No. 1 se desarrolla en tres niveles bajo superficie. El volumen excavado sería alrededor de 268 000 m<sup>3</sup>.
- 9.107 La sección en la que se desarrolla la cola de maniobra corresponde a un túnel único entre pantallas con un espesor mínimo de 1.2 m en la zona menos profunda, el cual aumentará a medida que la profundidad sea mayor y estos muros sean sometidos a mayores cargas. En todo caso, estas dimensiones deberán ser detalladas en etapas posteriores de este proyecto cuando se cuente con mayor información de exploraciones geotécnicas.

Figura 9.69 Sección típica de trinchera cubierta cola de maniobra



#### SECCIÓN TIPO TUNEL ENTRE PANTALLAS RECTA:

- NOTAS:**
- G.E. (GALIBO ESTÁTICO)
  - G.D. (GALIBO DINÁMICO)
  - G.L.O. (GALIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

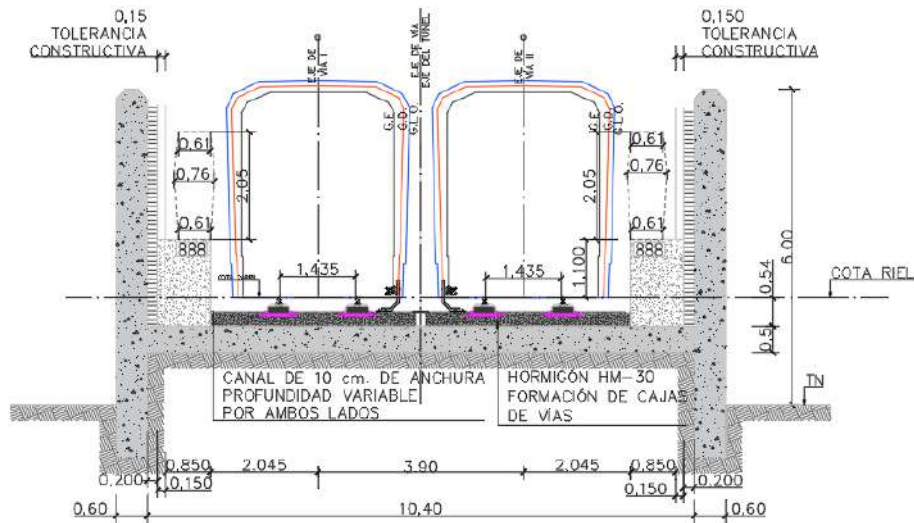
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Tramo de infraestructura en rampa

- 9.108 Sobre el corredor de la Av. Suba con carrera 137ª, el diseño en perfil de la línea se eleva hasta convertirse en viaducto. La transición del túnel al viaducto se hará con una rampa cuya pendiente es de 2.5% aproximadamente.

- 9.109 A partir del inicio de la rampa, en la abscisa 14+940, la sección rectangular cerrada del túnel pasará a tener forma de “U” en una longitud de 120 m (ver Figura 9.70), con el mismo ancho (10.4m aprox. entre las paredes) y configuración que la sección en trinchera, salvo que se suprima la losa del techo. La losa de la base (y la vía férrea) se eleva progresivamente hasta el nivel del suelo. Las paredes laterales se elevan por encima del nivel del suelo para evitar el paso de agua al túnel férreo producto de las inundaciones a las que la zona se ve sometida. El agua de lluvia se recogerá mediante canales de drenaje y bombas de sumidero.

Figura 9.70 Transición en “U”



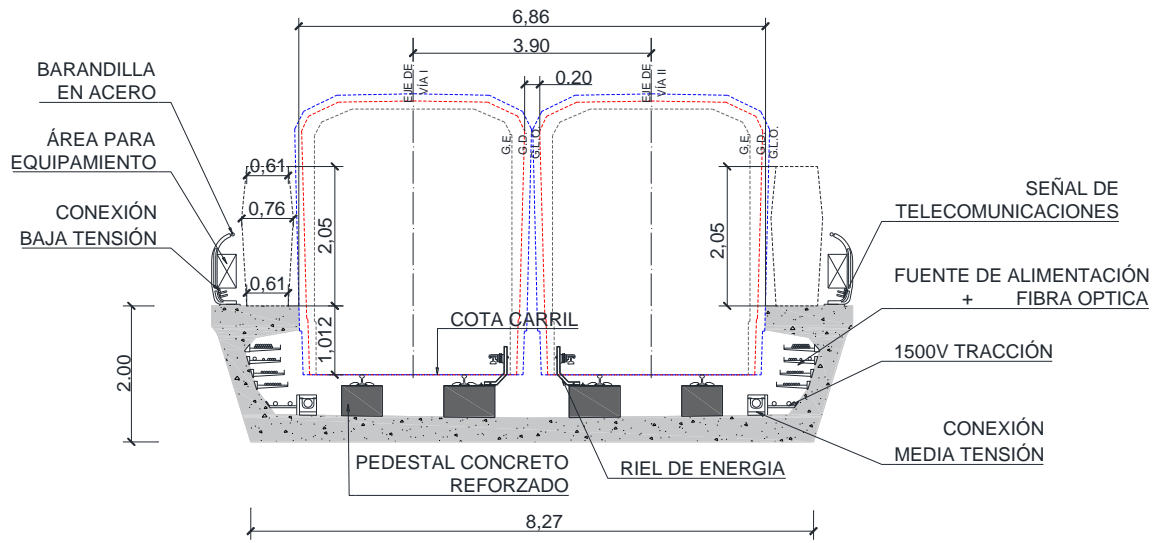
**SECCIÓN TRANSICIÓN PANTALLAS A ELEVADO:**

- NOTAS:**  
- G.E. (GÁLIBO ESTÁTICO)  
- G.D. (GÁLIBO DINÁMICO)  
- G.L.O. (GÁLIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 9.110 Luego, cuando la rampa alcanza el nivel del suelo en la abscisa 15+060 aproximadamente, la sección en forma de U se convertirá en una rampa de estribo sobre el suelo. El tablero mantendrá el mismo ancho y configuración (pasarelas y equipos electromecánicos) que los tramos anteriores. Se instalarán muros laterales para garantizar la seguridad de las pasarelas y en caso de descarrilamiento del tren. El agua de lluvia se recogerá mediante canales de drenaje y bombas de sumidero.
- 9.111 El final de la rampa se situará en la abscisa 15+200, desde donde se inicia el viaducto que llega hasta el patio taller.

Figura 9.71 - metro en viaducto



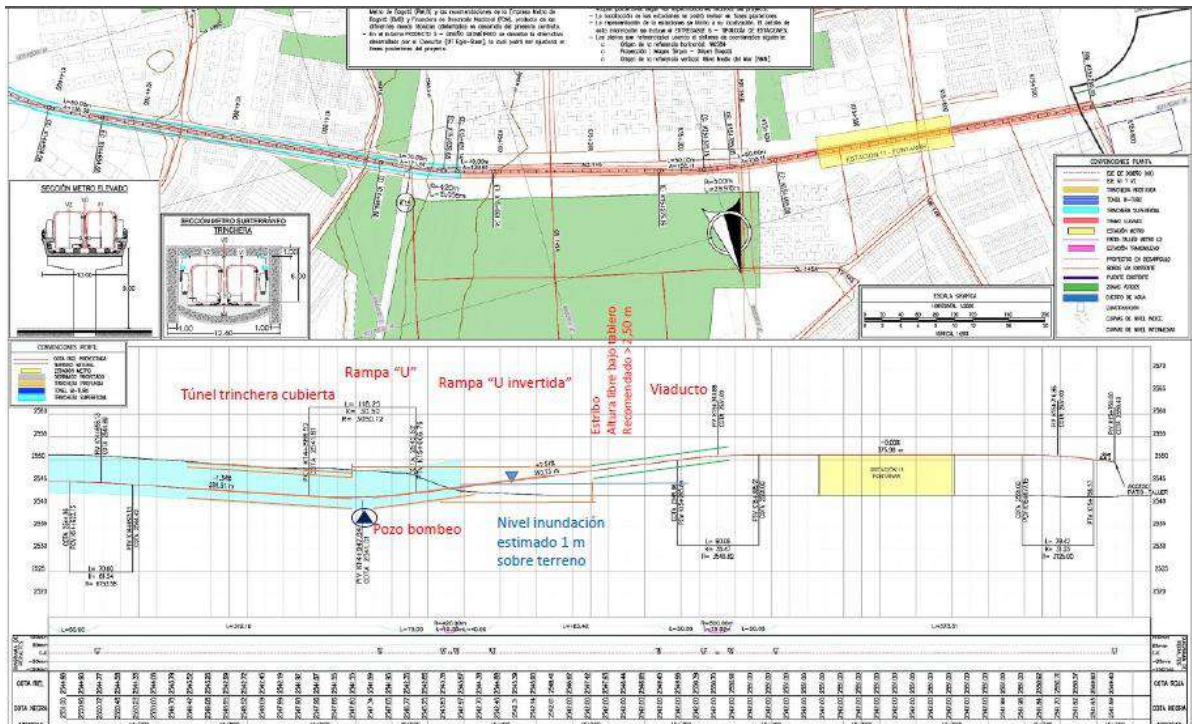
**SECCIÓN TIPO VIADUCTO RECTA:**

**NOTAS:**

- G.E. (GÁLIBO ESTÁTICO)
- G.D. (GÁLIBO DINÁMICO)
- G.L.O. (GÁLIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Figura 9.72 perfil tramo en rampa



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



# 10 Tipo de obra elevada

## Viaducto tipo PLMB

- 10.1 En esta fase de prefactibilidad, se ha seleccionado la misma sección de viaducto usada en la PLMB. Aunque este diseño pertenece al concesionario de la PLMB, el diseño de detalle del viaducto de la SLMB se desarrollará en las fases de Estudio de Factibilidad y en consecuencia, la forma del tablero podrá ajustarse.

### *Implantación de la estación elevada*

- 10.2 La estación N° 11 se localiza entre las abscisas K15+455 al K15+605, esta estación elevada está proyectada con plataformas laterales, con una cota riel aproximada de 9 m sobre el terreno existente. Desde este punto, la línea discurre de tipología elevada hasta llegar a inmediaciones del polígono denominado Fontanar del Río destinado para la implantación del patio-taller.

## Parámetros y características

- 10.3 En estos estudios de prefactibilidad, para la alternativa seleccionada se cuenta con un tramo de tipología elevada, donde se tuvieron en cuenta las consideraciones técnicas y de inserción urbana estimados en la PLMB, por su similitud técnica, operacional y de inserción. A continuación, se indican las características validadas:
- Distancias mínimas de aislamiento horizontal o distancia mínima entre las fachadas: distancia mínima de 10 m entre las fachadas y el exterior del tablero.
  - Gálibos o distancias mínimas entre la infraestructura a nivel y el tablero del viaducto: Se respetan gálibos mínimos verticales para tránsito vehicular particular y de tránsito BRT de 5,50 m.
  - Características del suelo: Sabana de Bogotá cercano al río Bogotá.
  - Se adoptan características similares para el material rodante definido en la PLMB (cargas, longitud, alimentación eléctrica, gálibos, distancia entre-ejes, entre otros)
  - Geometría del tablero: Para la SLMB por tratarse de trenes similares, se adoptó el mismo ancho del tablero y sus características funcionales, tales como altura de la zona de evacuación, espaciamiento mínimo entre trenes, etc.,
  - El diseño de las cimentaciones del viaducto.
  - Para las estructuras elevadas destinadas para la línea 2, se consideraron las condiciones propias del diseño de la estructura y la sección resistente necesaria para soportar todas las cargas planteadas en la PLMB.
- 10.4 Como características particulares se tienen las consideraciones para la implementación de la línea elevada compuestas principalmente por:



- La zona de llegada de la SLMB se caracteriza por ser una zona de riesgo por inundación alto y medio. Estas condiciones de riesgo por inundación del sistema, son claves para incorporar en el planteamiento una rasante superior a la cota del terreno natural, lo que justifica el tramo elevado.
- Transición para la llegada o proximidad al Patio Taller: la llegada al patio taller proyectada en el predio Fontanar del Río, plantea una geometría que necesariamente contiene una transición que pasa del nivel semi-subterráneo al nivel del patio taller la cual se soluciona con un planteamiento elevado para evitar la interrupción o corte de la trama urbana en esta zona.

#### **Características generales:**

10.5 Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, el planteamiento del tramo elevado da funcionalidad y viabilidad a la integración con la zona adyacente y sobre el corredor de la Av. Suba. Las características de la infraestructura elevada considerada son:

- Ancho del tablero: 10 m,
- Diámetro de las pilas con protecciones de 3.5 m,
- El nivel de los rieles o rasante: 9 m sobre el terreno natural para el tramo elevado de vía.
- El nivel de los rieles o rasante horizontal, sin pendiente en el sector de la estación.

#### **Viaducto viga en “U”**

10.6 Adoptando el planteamiento de la PLMB, para la implantación del tramo elevado de la SLMB se optó por proyectar la misma tipología de infraestructura en viga tipo U la cual presenta, entre otras características, una solución de infraestructura que permite la circulación en doble sentido sobre el tablero:

- Distancia entre apoyos: para la SLMB se proyecta que el tramo elevado contemple al igual que la PLMB, vanos promedios de 35 m.
- Requerimiento de mayores vanos: Aunque el tramo elevado contempla una inserción en inmediaciones de la Av. Suba, que permite el cruce viario entre los barrios de la zona, de ser necesario la tipología adoptada permite holguras de rango para incrementar la longitud de los vanos mayores a 35 m, aumentando el espesor de las almas y/o con la implementación de pilas “martillo”.
- Impacto Visual: en concordancia con el concepto estético soportado en la PLMB, se considera que su impacto estético es más favorable por tener sus bordes redondeados y prestar un espesor y ancho menor al unificar las dos vías en la misma viga.
- Altura de rasante: La tipología adoptada de la PLMB posibilita la proyección de la cota riel considerando que los rieles se encuentran sobre la losa de la viga haciendo que las longitudes de transiciones sean menores, así como la altura de la infraestructura del viaducto en general.
- Así mismo se reducen la altura para la infraestructura de la estación elevada No 11
- Operación de retorno de trenes. El planteamiento de trazado horizontal en el entorno de la estación N° 11 posibilita las maniobras de retorno de los trenes.

#### **Características generales**

10.7 En acuerdo a las consideraciones analizadas por la PLMB el sistema de construcción del tablero, se tiene para el transporte y construcción, vigas en forma de “U”, prefabricadas con dovelas o secciones promedio de 2 a 3 metros, que dan mayor rapidez y versatilidad en la construcción

prefabricada de los elementos, mayor facilidad constructiva por el izado y transporte con medios convencionales. Esto ayuda a que haya mayor flexibilidad en los avances de los trabajos in situ que puedan generar alguna perturbación al tráfico.

10.8 Así mismo se analizó la disponibilidad y características de las vías de acceso a la obra, para poder contar con mayor facilidad en el transporte de los elementos prefabricados,

10.9 Adicional a lo anterior el método de dovelas permite lograr adaptarse adecuadamente al trazado geométrico en tramos curvos, lo que lo hace muy acorde al tramo curvo de llegada al patio taller (No obstante, en el patio taller, al no afectar vía pública se podría construir mediante cimbrados, encofrados y concreto vaciado in situ).

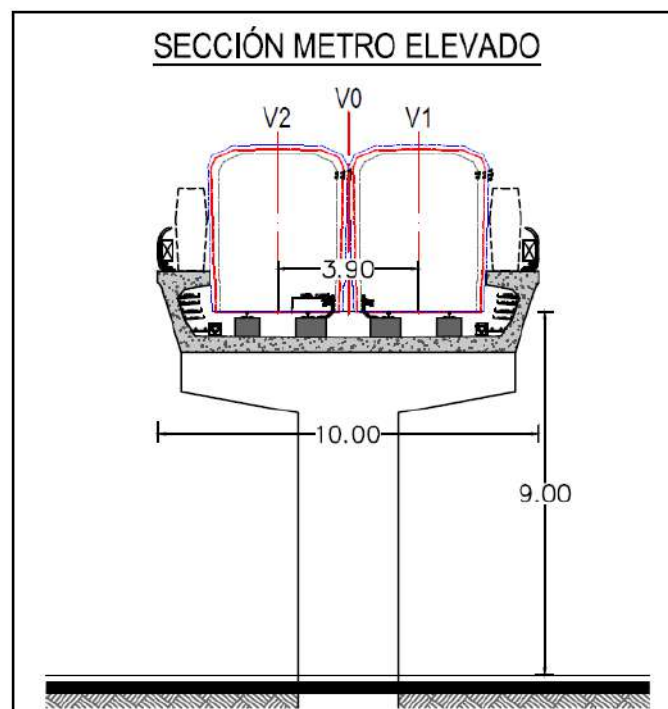
#### Pre-dimensionamiento vigas en “U”

10.10 El dimensionamiento estimado para la SLMB corresponde a la infraestructura estimada para la PLMB la cual tiene como características principales

- Ancho Total: 10 m entre bordes externos, ancho efectivo en placa de 7.80 m
- Espesor total de apoyo: 2.80 m
- Altura entre la vía y la membrana superior: 1.10 m
- Ancho de las vigas laterales: 1.10 m (operación y mantenimiento)

10.11 El tablero se proyecta en concreto pretensado en forma de “U” se compone de dos vigas laterales y entre ellas, una losa inferior. Cada viga lateral incluye un alma y una membrana superior. El ancho del tablero adoptado depende del ancho del material rodante, que por su similitud se definió igual al anteriormente indicado.

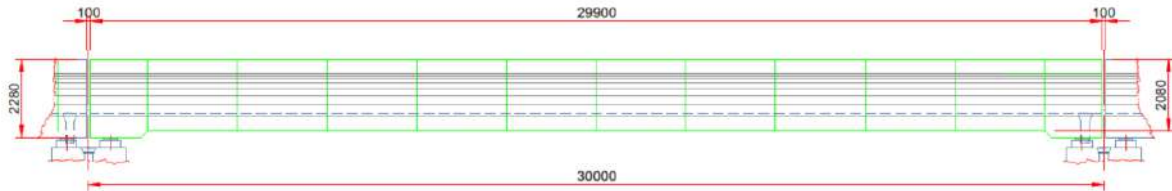
Figura 10.73 sección transversal tipología elevada de la PLMB, opción seleccionada para la línea 2.



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021 (basado en diseño PLMB, ver parágrafo 5.1)

- 10.12 Todas las vigas serían de concreto pretensado, con una losa de concreto armado construida “in situ”, las cuales van apoyadas sobre 4 bases de neopreno por pila, como se muestra en la Figura 10.74

**Figura 10.74 vista longitudinal tramo elevado de la PLMB, opción para la línea 2**



Fuente: PLMB-SYS-DOC-STR-1100-OB

- 10.13 El drenaje del tablero se realiza por gravedad y mediante pendientes longitudinales y transversales conectados por sistemas de drenaje que van a ser conectados al sistema de redes pluviales de la ciudad.

#### **Pre-dimensionamiento de los apoyos**

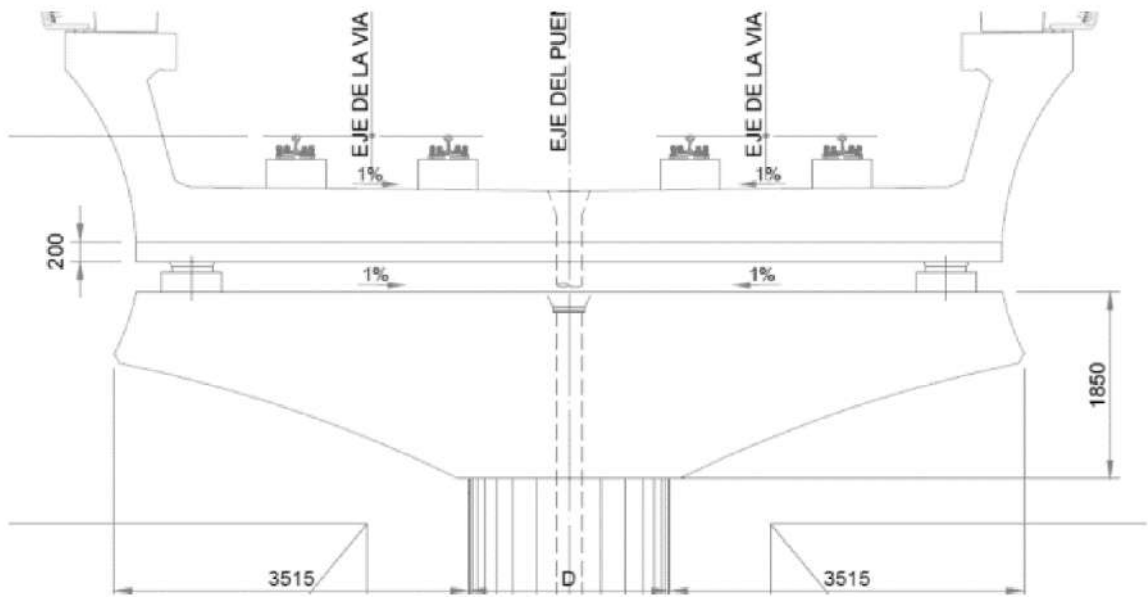
- 10.14 Para la proyección del tramo elevado se adoptaron igualmente las consideraciones estructurales de la PLMB, las cuales contienen tres tipos de apoyos para las vigas del viaducto. Su ingeniería de detalle se estudiará en fases de estudio posteriores.

- Pilas simétricas: centrada bajo el tablero.
- Pilas excéntricas: con apoyo para el tablero desplazados del eje de la pila.
- Pórticos de apoyo.

#### *Pila simétrica*

- 10.15 Al igual que los análisis de la PLMB, los apoyos se proyectan simétricos y proponen pilas centrales, con sección circular homogénea con un cabezal de aproximadamente 8 m, con 4 apoyos separados cada 2m transversalmente y 1,2 m longitudinalmente, se aclara que el detalle de estas dimensiones corresponderá a fases de estudio posteriores que dimensionaran los anchos y profundidades de las estructuras de acuerdo a sus condiciones geotécnicas y solicitaciones de cargas particulares.

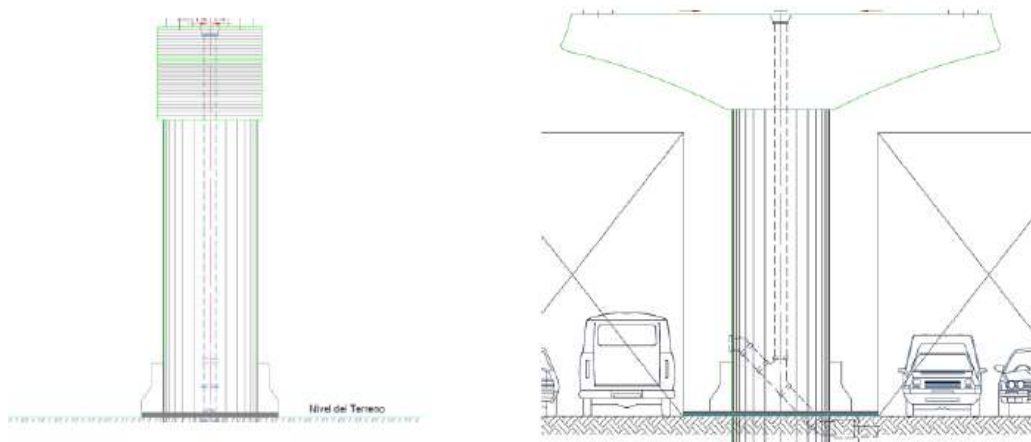
Figura 10.75 vista transversal cabezal pila del tramo elevado de la PLMB, opción para línea 2



Fuente: PLMB-SYS-DOC-STR-1100-OB

- 10.16 Para la SLMB, se estiman pilas con diámetros de 2.5 m y alturas de aproximadamente 5 m sobre terreno natural y tendrán su respectiva protección o barreras para el tránsito alrededor de la base de la pila.
- 10.17 La estructura tendrá drenaje al interior de la pila y un acceso lateral inferior para actividades de inspección y mantenimiento.
- 10.18 En particular la altura de las pilas será menor a la que permita el galibo mínimo para los vehículos en el tramo de transición entre la tipología semi-subterránea y la elevada.

Figura 10.76 vista longitudinal tramo elevado de la PLMB, opción para la línea 2



Fuente: PLMB-SYS-DOC-STR-1100-OB

### *Pilas Excéntricas*

- 10.19 Al igual que en la PLMB, de ser necesario, se plantea la posibilidad de pilas excéntricas, las cuales podrían estar incorporadas en el tramo elevado hasta llegar al patio taller, en este aparte se indica pero no se detalla sobre su incorporación.

### *Pórticos*

- 10.20 Si las condiciones del tramo elevado de la SLMB, lo requieren, se podrá hacer la inclusión de pórticos como estructuras de soporte para el viaducto, pero al igual que el aparte anterior no se detallarán hasta tener el detalle de sus necesidades en fases de estudios posteriores.

### **Pre-dimensionamiento de la cimentación del viaducto**

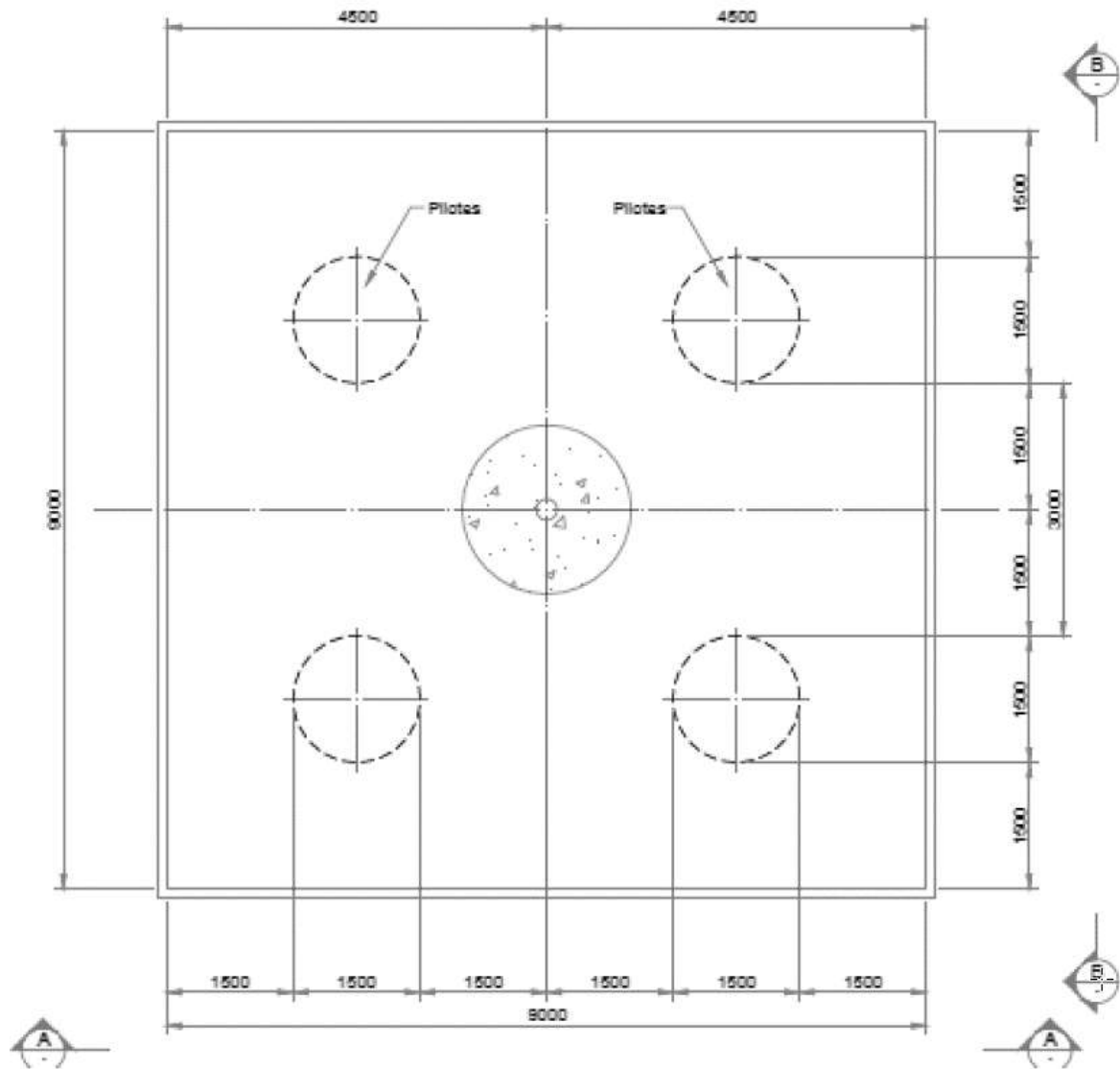
- 10.21 Para las estimaciones de prefactibilidad de la SLMB se tuvieron en cuenta en principio, los análisis y planteamientos de la PLMB en el documento PLMB-SYS-DOC-STR-1100-OB, el cual definió los siguientes tipos de fundaciones:

#### *Pilotes preexcavados*

- Zapata cuadrada de 9,0 de lado y espesor 2,0 m;
- Cuatro pilotes preexcavados de 1,5 m de diámetro con un espaciamiento de centro a centro de pilotes de 4,5 m.

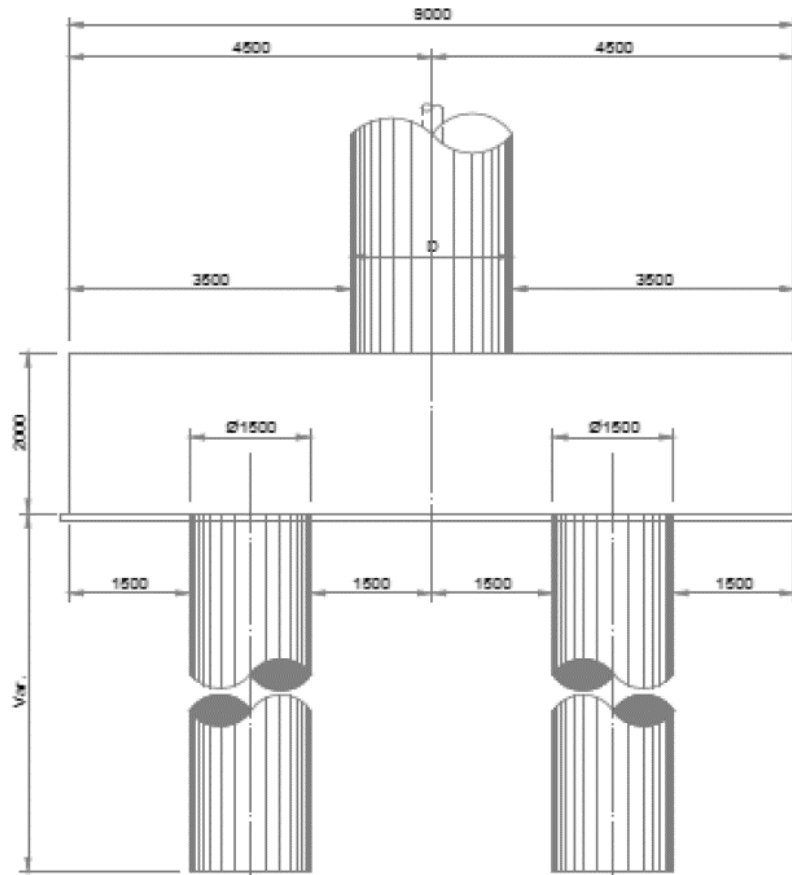


Figura 10.77 planta zapata pila simétrica PLMB, opción para línea 2



Fuente: PLMB-SYS-DOC-STR-1100-OB

Figura 10.78 cortes transversal y longitudinal zapata pila simétrica PLMB, opción para línea 2



Fuente: PLMB-SYS-DOC-STR-1100-OB

- 10.22 Las profundidades promedio para los pilotes se estimaron en 60m, aclarando que la profundidad deberá ser estudiada y definida según los parámetros geotécnicos a lo largo del tramo elevado.

*Descripción y resumen de inventario de apoyos y cimentaciones*

- 10.23 Para el tramo elevado se detalla, en la siguiente tabla, la longitud de la infraestructura en tipología elevada, así:

Tabla 10.16 - Tipo de sección SLMB y sistema constructivo

PK INICIO	PK FIN	TIPO SECCIÓN METRO	TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL
15+056	15+760	Elevado	Vigas bi-apoyadas

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 10.24 Para el tramo indicado, con una longitud de 704 m, se requeriría de la construcción de 24 apoyos compuestos por pilas de altura variable, como ya se indicó líneas arriba, siendo la altura promedio de 5 m a partir del terreno natural y para las cuales se estiman 96 pilotes de aproximadamente 60 m de profundidad.

- 10.25 La selección de la técnica de construcción depende, en general, de la disponibilidad de equipos, las ventajas y desventajas técnicas y económicas que los diseñadores y constructores encuentran en los perfiles del subsuelo del sitio en función de las exigencias del CCP-14, los requerimientos de las entidades y las limitaciones de cada sistema en relación con aspectos ambientales y sociales, por lo cual, en el capítulo de “Análisis geotécnico” se presenta un análisis alternativo para pilotes por fuste, los cuales pueden ser una alternativa más económica, considerando el tipo de suelo donde se desarrolla el tramo en viaducto de la SLMB.

#### **Proceso constructivo**

- 10.26 En línea con las estimaciones de la PLMB, la SLMB se proyectan cimentaciones profundas en concreto reforzado “in situ”, debido a la baja capacidad portante del terreno, para lo cual podría contarse con los siguientes sistemas o métodos de perforación:
- Pilotes perforados entubados;
  - Pilotes excavados bajo fluido de perforación, incluidos los barretes;
  - Pilotes perforados con hélice continua.
- 10.27 Los métodos empleados se determinarán en las siguientes fases de estudio, para los datos y las pilas se utilizarán procesos de fundido in situ con formaleta.

#### **Implantación de la estación Elevada**

- 10.28 Los análisis realizados para el prediseño de estación elevada, se desarrolla en el Entregable 6 – Tipología e Inserción de Estaciones y su detalle deberá consultarse en este informe.

# 11 Tipo de vía férrea

## Diseño

11.1 Se asume que se trata de una vía con ancho estándar UIC. La Unión Internacional de Ferrocarriles (conocida por las siglas UIC, del francés Union Internationale des Chemins de Fer)

### Sección transversal típica

#### Vía en placa

11.2 La estructura de la vía en placa se compone de:

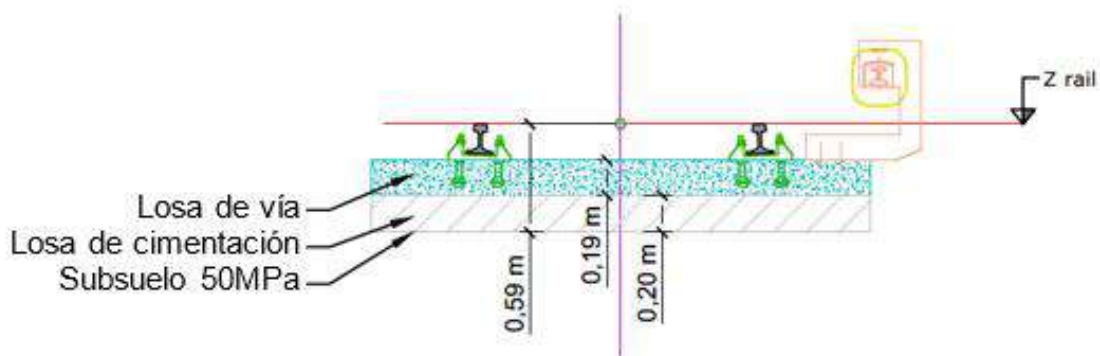
Tabla 11.17 – Estructura de vía en concreto

	Patio-Taller	Línea
Vía	Perfil de vía	
Soportes de vía	Traviesas o placas base de hormigón	
Soportes del tercer riel	Mutualizado con traviesas o independiente	
Losa de la pista	C30/37 hormigón espesor: 19cm	C30/37 hormigón espesor: 23cm
Losa de cimentación	C20/25 hormigón espesor: 20cm	C20/25 hormigón espesor: 20cm
Subsuelo	50 MPa	

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

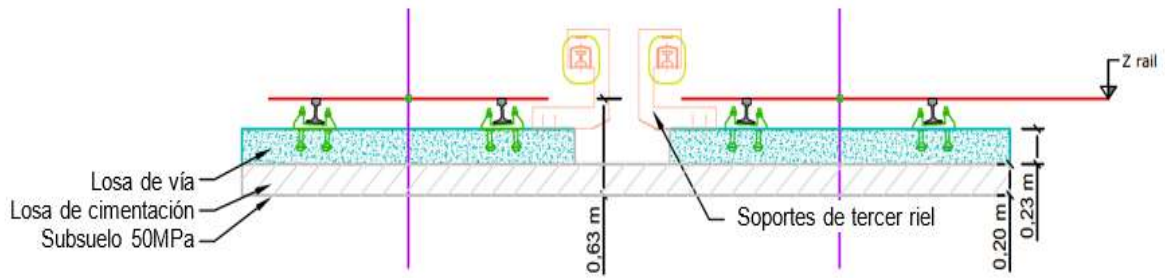
11.3 Estas dimensiones y características corresponden a sistemas equivalentes, y se ajustarán en las fases siguientes.

Figura 11.79 – Vía única en placa en el patio taller



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Figura 11.80 – Vía doble en placa en línea



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Vía sobre balasto

11.4 La estructura de la vía sobre balasto se compone de:

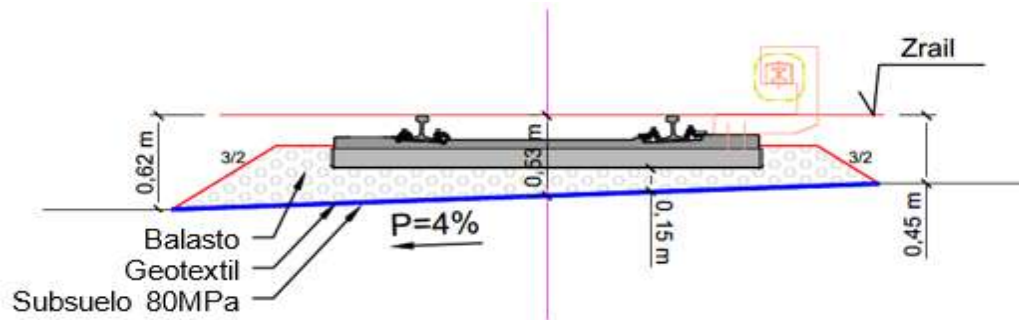
Tabla 11.18 – Estructura de vía sobre balasto

	Patio-Taller	Línea
Vía	Perfil de vía	
Soportes de vías	Traviesas de hormigón	
Soportes del tercer riel	Mutualizado con durmientes	
Lecho de balasto	15cm bajo durmientes	25cm bajo durmientes
Subsuelo	80 MPa Impermeabilización	

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

11.5 Estas dimensiones y características corresponden a sistemas equivalentes, y se ajustarán en las fases siguientes.

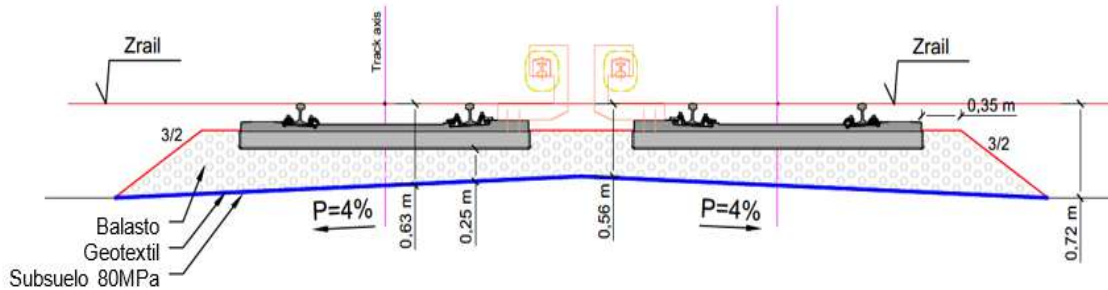
Figura 11.81 – Vía única sobre balasto en el patio-taller



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021



Figura 11.82 – Vía doble sobre balasto en línea



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Subsuelo

- 11.6 La permeabilidad del lecho de balasto implica el sellado de la subrasante. El objetivo es asegurarse de que no entre agua en la subrasante, lo que podría causar importantes desordenes.

### Drenaje

#### Vía en placa

- 11.7 El drenaje superficial de una vía en placa lo realiza la propia superficie de la losa de la vía. Una inclinación transversal de esta superficie (1%) permite que el agua se drene hacia el exterior y luego hacia los colectores.
- 11.8 Hay que prestar atención a la interfaz entre el hormigón de la losa de la vía y el relleno entre vías para garantizar la continuidad del flujo hacia los colectores.

#### Vía sobre balasto

- 11.9 Como el balasto es un material permeable, el drenaje se realiza en la interfaz entre el lecho de balasto y la subrasante. Para garantizar la estabilidad de la vía, la subrasante debe ser perfectamente drenada. Por ello, presenta una elevada pendiente transversal (4%) para facilitar el flujo de agua y guiarla hacia el sistema de recogida longitudinal.

### Alineación e interfaz del material rodante

#### Deformación de la vía y radio mínimo

- 11.10 La vía sobre balasto presenta una relativa flexibilidad y, en consecuencia, riesgos de desplazamientos/deformaciones transversales. En comparación, una vía de hormigón rígido impide cualquier desplazamiento y garantiza una buena calidad/estabilidad de la alineación de la vía. En el patio-taller, la ausencia de tráfico estabilizador regular amplifica este fenómeno de deformación de la vía de balasto.
- 11.11 En el exterior, las vías están sometidas a las variaciones de temperatura y a las radiaciones solares. La dilatación térmica provoca un empuje hacia el exterior de las curvas, lo que provoca una

deformación de la vía. Es necesario aplicar refuerzos de balasto, sobre todo en las zonas con radios de curva pequeños. Estos refuerzos permiten contrarrestar las fuerzas exteriores en las curvas, pero también conllevan problemas de espacio y mantenimiento.

- 11.12 Sin embargo, los refuerzos de balasto no son compatibles con el tercer riel. Éste debe implantarse preferentemente a lo largo del interior de la curva para crear un refuerzo de balasto al menos a lo largo del exterior de la curva.
- 11.13 Nuestras experiencias muestran que la vía sobre balasto no se adapta a las alineaciones sinuosas y requiere frecuentes acciones de mantenimiento para garantizar una buena geometría de la vía. Por ejemplo, en el caso del tren-tranvía Rhône-Express: la vía sobre balasto prevista inicialmente tuvo que hormigonarse en todas las curvas para evitar deformaciones de la vía y asegurar/garantizar la geometría de la misma.
- 11.14 A título informativo, la SNCF (ferrocarriles franceses) publica criterios de alineación para las vías sobre balasto, que recomiendan:
- Un radio mínimo de 200m;
  - Un radio mínimo de 190m en las vías de servicio (vías secundarias y el patio-taller), y excepcionalmente 150m;
  - La implantación de hombros de balasto para las curvas de radio hasta 500m.

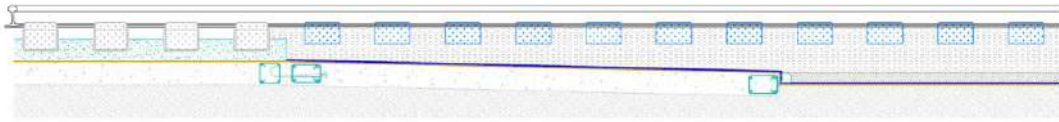
#### *Galibo dinámico*

- 11.15 La vía sobre balasto es menos estable. Por lo tanto, el galibo dinámico que debe considerarse para el material rodante es más amplio para la vía sobre balasto que para la vía en concreto. Así, el galibo amplía en unos 60 mm (30 mm a cada lado). Esta ampliación tiene repercusiones en:
- La posición de los puntos de engaño se puede desplazar, lo que provoca el alargamiento de las vías;
  - La distancia mínima aceptable entre los ejes de las vías es mayor.
- 11.16 También habría que comprobar el impacto de la vía sobre balasto en el diseño de la estación: distancia entre ejes de vía (de centro a centro) y ubicación lateral del andén.

#### **Transición vía sobre balasto / vía en concreto**

- 11.17 Este tipo de transición es necesaria para garantizar una variación suave de la rigidez entre una estructura de vía rígida (vía en concreto) y una blanda (vía sobre balasto).
- 11.18 Estas transiciones deben localizarse en los siguientes puntos:
- Si se opta por la vía sobre balasto, estas transiciones deben realizarse en cada cambio de tendido:
    - A la entrada del túnel;
    - A la entrada de la zona del patio-taller;
    - Antes/después de cada curva cerrada (principalmente en el patio-taller);
    - Antes/después de cada desvío de radio pequeño (principalmente en el patio-taller);

**Figura 11.83 – Ejemplo de transición entre la vía en concreto (a la izquierda) y la vía sobre balasto (a la derecha)**



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### **Bandejas de cables**

- 11.19 En la vía sobre balasto, los cables pueden instalarse a lo largo de las vías en bandejas de cables hechos con canales técnicos. Se implantan a una distancia suficiente del eje de la vía para permitir su construcción y mantenimiento. Sin embargo, las bandejas pueden presentar desordenes (mala calidad de la base de la bandeja que implica la deformación del mismo, vulnerabilidad de las cubiertas al montaje/desmontaje, posible robo de los cables que pueden cortarse fácilmente). Por ello, se recomienda el uso de canales realizado en el subsuelo, como en el caso de la vía en concreto.
- 11.20 En ambos casos, cuando sea necesario, los cruces de vía deben realizarse con conductos en vaina para permitir el mantenimiento de la vía y evitar puntos débiles en la estructura de la vía.

### **Caminos peatonales**

- 11.21 La creación de caminos peatonales longitudinales es más fácil con la vía en concreto, ya que la zona entre vías es perfectamente apta para todo tipo de caminos (metálicos, de hormigón...) sin ninguna adaptación específica. Además, en el caso de la vía en concreto, se puede prever la creación de los caminos directamente con el hormigón de superficie.
- 11.22 En el patio-taller, dependiendo del tipo de vía, los caminos peatonales longitudinales y cercanos a la vía pueden pertenecer al ámbito de los sistemas o al de la obra civil:
- En el caso de la vía sobre balasto, dado que los lechos de balasto requieren un gran ancho de vía, los caminos deben estar en el perímetro del sistema;
  - Cuando estos caminos están alejados de las vías o en el caso de la vía en concreto, podrían estar dentro del perímetro de la obra civil y deben ser tratados en la interfaz con la vía.
- 11.23 En cualquier caso, los cruces perpendiculares a las vías están dentro del ámbito del sistema.

### **Superficies transitables**

Este caso se puede dar en el patio-taller.

- 11.24 La vía en concreto también se adapta más fácilmente a la creación de superficies transitables. Es posible colocar fácilmente superficies de hormigón (o tablonas). La superficie de circulación es homogénea dentro y fuera de la vía, lo que limita los fenómenos de asentamiento diferencial.
- 11.25 La vía sobre balasto requiere el uso de tablonas específicas (que deben ser desmontables para su mantenimiento). Son necesarias vigas de hormigón armado para sostenerlas a cada lado de la vía a atravesar.

- 11.26 Los tablonces de la vía sobre balasto son menos estables bajo las cargas de los camiones debido al rebote de las ruedas alrededor de las vías. Además, no podrán soportar los giros de los camiones porque son poco resistentes a las fuerzas horizontales.
- 11.27 Una solución podría ser implementar la vía en concreto para este tipo de cruce, pero esto implica transiciones entre la vía sobre balasto y la vía en concreto.

## Obras

### Obras del subsuelo (movimientos de tierra)

- 11.28 El espesor total de la vía desde la superficie de rodadura hasta el subsuelo depende de la estructura de la vía, como de la capacidad portante necesaria:

**Tabla 11.19 – Espesor y capacidad de carga**

	Patio-Taller		Línea	
	Vía sobre balasto	Vía en concreto	Vía sobre balasto	Vía en concreto
Espesor total	45-62 cm	59 cm	55-72 cm	63 cm
Módulo de prueba de carga de la placa (E <sub>v2</sub> )	80 MPa	50 MPa	80 MPa	50 MPa
Ilustración	Figura 11.81	Figura 11.79	Figura 11.82	Figura 11.80

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**En el caso de la vía sobre balasto, la subrasante debe estar impermeabilizada y con pendiente debajo de cada vía para permitir el drenaje de las mismas.**

- 11.29 La capacidad portante del subsuelo debe ser de 80 MPa (EV2) en el caso de la vía sobre balasto, frente a 50 MPa en el caso de la vía en concreto. Lo que implica un mayor número de purgas y sustituciones para conseguir esta mayor capacidad de la subrasante, en particular en el caso de suelos de mala calidad.
- 11.30 En las vías sobre balasto, el drenaje se realiza a nivel de la subrasante. La red de drenaje a lo largo de las vías es más profunda que en las vías en concreto, ya que comienza bajo el lecho de balasto.

### Obras de vía (método de instalación de la vía)

- 11.31 En el caso de la vía sobre balasto, las vías se sueldan en barras largas y luego se entablillan. Alrededor de los desvíos (es decir, especialmente en el patio-taller), deberán utilizarse juntas de alta permeabilidad, que requieren una mayor inspección y mantenimiento. La longitud de las barras largas deberá ser estudiada por el concesionario en el marco de un estudio CWR (Continuous Welded Rail), teniendo en cuenta todos los parámetros: longitud de la vía, geometría y posición de los desvíos, unión con la vía subterránea.
- 11.32 La vía en concreto se puede soldar de forma continua, lo que garantiza un mayor confort y una menor inspección y mantenimiento. La tensión de la vía debida a los efectos térmicos se transfiere a la losa de hormigón. Sólo pueden ser necesarios algunos dispositivos de expansión en la unión con la vía subterránea.

- 11.33 La instalación de la vía sobre balasto requiere el uso de herramientas y equipos específicos: bateadora, regulador, estabilizador dinámico.
- 11.34 En el patio-taller, teniendo en cuenta las bajas longitudes y los bajos radios (R 100m), la vía sobre balasto tendrá que ser colocada utilizando un desvío mixto y una bateadora de vía estándar, o incluso manualmente.
- 11.35 En el patio-taller, en las transiciones sobre balasto / en concreto, el espesor del lecho de balasto es demasiado pequeño para realizar el bateo mecanizado. Esto significa que la alineación y la estabilidad de la vía pueden ser de menor calidad en estos lugares sensibles.
- 11.36 El tendido de la vía sobre balasto requiere precauciones para limitar las deformaciones debidas a la dilatación térmica: un procedimiento de incorporación es imprescindible para liberar las tensiones en las vías con el fin de garantizar la estabilidad del lecho de balasto.
- 11.37 El ajuste de la vía de balasto es más complejo. El cumplimiento de las tolerancias de instalación es más difícil que en el caso de la vía en concreto, lo que podría dar lugar a una peor calidad de la vía, especialmente en las curvas y zonas de desvíos. La vía sobre balasto es aún más difícil de ajustar en caso de desvíos múltiples y cercanos.

## Mantenimiento

### Vehículos de mantenimiento

- 11.38 Para las vías sobre balasto, es necesario utilizar vehículos de mantenimiento específicos: bateadora, regulador, estabilizador dinámico. La intervención de estos vehículos debe ser prevista para garantizar el mantenimiento o la renovación de las vías sobre balasto y los desvíos. Estos vehículos pueden comprarse o alquilarse.
- 11.39 Los vehículos de mantenimiento habituales dedicados a la vía sobre balasto están diseñados para ferrocarriles pesados. Probablemente no puedan tratar (aunque hay que comprobarlo en las fases siguientes) las curvas cerradas del patio-taller (R100m) y las geometrías de los desvíos del proyecto.

### Mantenimiento de las vías

- 11.40 El mantenimiento de la vía está a favor de la vía en concreto. Es muy limitado para este tipo de vía en comparación con una vía sobre balasto.
- 11.41 La vía sobre balasto requiere controles más frecuentes en comparación con la vía en concreto que no se deforma con el tiempo, a saber: alineación horizontal y vertical, mediciones de peralte y torsión, y operaciones de bateo y ajuste para mantener una geometría de vía conforme. Estas operaciones son más frecuentes a medida que el tráfico es menor y, por lo tanto, no contribuyen mucho a la estabilización dinámica de la vía (en particular en patio-taller). La operación de bacheo debería ser necesaria cada 3 a 5 años para mantener una geometría de vía aceptable y segura, luego este intervalo disminuye con la edad del tendido de la vía. También pueden ser necesarias renovaciones localizadas (por término medio, cada 6 años).
- 11.42 Otros factores hacen que el mantenimiento de las vías de balasto sea más amplio:
- Degradación de la alineación vertical debido a las transiciones hormigón/balasto.



- Estas transiciones representan puntos particulares que requieren un mantenimiento específico. Como resultado de las diferentes rigideces entre la vía sobre balasto y en concreto, pueden aparecer problemas de asentamiento diferencial que deben evitarse. Pero la delgadez del lecho de balasto en la transición dificulta el bateo, incluso lo hace imposible.
- Degradación más rápida de las vías debido a la utilización de juntas de vías;
- Hay que prestar especial atención a las tablillas y al estado del balasto en las juntas de vías. Las aberturas de las juntas de vías deben ser inspeccionadas regularmente. El mantenimiento de las tablillas debe hacerse con cuidado mediante un engrase frecuente.
- Sensibilidad de la vía sobre balasto en radios estrechos a los fenómenos de dilatación térmica (empuje de la vía fuera de la curva y desplazamientos transversales de la vía que requieren el uso de refuerzos de balasto);

11.43 Al igual que en la construcción de la vía, el ajuste de la vía sobre balasto durante el mantenimiento es más complejo que para una vía en concreto.

11.44 Los numerosos desvíos y las curvas cerradas del patio-taller son también puntos especiales para el tratamiento de la vía sobre balasto. Las operaciones de bateo son más complicadas y podrían requerir ser realizadas manualmente.

11.45 La vía en concreto también facilita la limpieza y el mantenimiento rutinario de las vías: no es necesario desbrozar la vía, y es posible aspirar la vía o lavarla con agua a diferencia de la vía sobre balasto. La contaminación por grasa y su tratamiento es un tema más complicado para la vía sobre balasto (la aspiración y la limpieza con aguas grandes es imposible). Además, el desbroce es necesario y debe adaptarse a la normativa sobre el uso de productos fitosanitarios.

#### **Renovación de las vías**

11.46 La renovación de la vía en concreto se limita a operaciones de sustitución de vías.

11.47 La renovación de la vía sobre balasto requiere también la renovación del balasto y operaciones pesadas para que la geometría de la vía vuelva a ser conforme.

#### **Mitigación del asentamiento**

##### *Asunto de asentamiento del proyecto*

11.48 El relleno de la zona del patio-taller debería tener en cuenta esta cuestión, para evitar un asentamiento retrasado en el tiempo. De hecho, la solución a este problema debe buscarse en su origen (geotécnico) y no en sus consecuencias sobre la alineación de la vía.

11.49 Así, la principal exigencia que debe exportarse al diseño es la de obtener un relleno estabilizado antes del inicio de las obras del metro, a través de una precarga.

11.50 En cuanto al futuro desarrollo de la zona del patio-taller, los futuros proyectos (especialmente los edificios) deberán diseñarse y construirse de forma que no generen desorden (asentamiento).

##### *Mitigación del asentamiento*

11.51 La vía sobre balasto se presenta a menudo como una solución a los problemas de asentamiento. De hecho, parece más fácil corregir la alineación vertical de una vía sobre balasto después de un asentamiento importante. La adición de balasto puede compensar el asentamiento y la geometría

puede ajustarse con una máquina apisonadora. Podemos considerar que un asentamiento de unos 10 cm puede gestionarse con una vía sobre balasto sin necesidad de movimientos de tierra adicionales.

11.52 La vía en concreto reacciona de forma diferente al asentamiento:

- En caso de pequeños asentamientos, la estructura de la vía (la losa de la vía y la losa de cimentación) puede seguir siendo fuerte. La alineación puede corregirse:
  - Añadir cuñas alimétricas en el sistema de fijación para compensar algunos milímetros;
  - Añadir nuevos sistemas de fijación en la losa de la vía entre la existente, con el fin de compensar algunos centímetros (hasta un máximo de 5 centímetros).
- En caso de asentamientos importantes, la ruina de la estructura de la vía es muy probable. Sólo la reconstrucción de la vía resolvería el problema.

11.53 No hay que olvidar que el problema del asentamiento es una cuestión geotécnica. La vía no debe considerarse como una solución nominal, sino degradada. Hay que tener en cuenta todos los inconvenientes de una vía sobre balasto antes de elegir este tendido de vía centrándose únicamente en la cuestión de los asentamientos.

## Operación

### Tercer riel

11.54 Una vía sobre balasto significa más polvo en la vía, lo que no es conveniente para el tercer riel. De hecho, una capa de polvo en el tercer riel podría tener un impacto negativo en la recogida de corriente.

### Molestias acústicas

11.55 Desde el punto de vista operativo, la contaminación acústica es mayor en las vías sobre balasto debido a la presencia de juntas de vía.

### Problema de descarrilamiento

11.56 El riesgo de descarrilamiento en las vías sobre balasto es mayor debido a la peor calidad de la alineación de la vía.

11.57 A pesar de todo, los descarrilamientos suelen producirse en los desvíos cuando se mueve la aguja mientras pasa un tren.

11.58 En el caso de un descarrilamiento en vía en concreto, los daños se concentran en la superficie de la losa de la vía y en los sistemas de sujeción. Las reparaciones son fácilmente manejables.

11.59 En el caso de un descarrilamiento en una vía sobre balasto, los daños se concentran en el sistema de sujeción. El lecho de balasto no puede ser literalmente dañado, pero puede requerir ser apisonado de nuevo.

11.60 Otra diferencia es que el re-encarrilamiento es más complicado con la vía sobre balasto, porque el terreno es más accidentado y dificulta la estabilización del equipo de manipulación.

## Síntesis

- 11.61 Técnicamente, la vía en concreto se adapta mejor a las limitaciones del proyecto. La elección de una vía en concreto es aún más relevante, ya que es el tipo de vía que se instala en el túnel, a menos que las investigaciones geotécnicas posteriores y el análisis de riesgos concluyan que los asentamientos al nivel del patio-taller son difíciles de gestionar.
- 11.62 Desde el punto de vista económico, la vía sobre balasto es menos costosa de instalar, mientras que su coste de mantenimiento es más elevado. Así, después de unos 12 años, los costes de propiedad son menores para la vía en concreto que para la vía con balasto. Los equipos, así como los caminos peatonales, las bandejas cables, el drenaje y también la realización del subsuelo suelen ser más caros en el caso de la vía sobre balasto que en el de la vía en concreto y acentúan la diferencia entre las soluciones.
- 11.63 En la Tabla 11.20 se presenta la comparación entre los tipos de vía analizados.

**Tabla 11.20 – Comparación entre vía en balasto y vía en concreto**

Obras	Patio-Taller		Línea	
	Vía sobre balasto	Vía en concreto	Vía sobre balasto	Vía en concreto
Movimientos de tierra	Más excavación Más purgas y sustituciones Impermeabilización del subsuelo Pendiente transversal Red de drenaje más profunda	Menos excavación Menos purgas y sustituciones No impermeabilización del subsuelo Sin pendiente transversal Red de drenaje menos profunda	Igual que Patio-taller	Igual que Patio-taller
Tendido de vía	No compatible con radios bajos Tercer carril no compatible con los hombros de balasto Rieles entablillados Equipo y método específicos Procedimiento de incorporación del carril Altas tolerancias de instalación	Compatible con radios bajos Compatible con tercer carril Rieles totalmente soldados Sin procedimiento de incorporación de carriles Bajas tolerancias de colocación	Equipo y método específicos Procedimiento de incorporación de carriles Altas tolerancias de colocación	Sin procedimiento de incorporación de carriles Tolerancias de colocación bajas
Bandejas de cable	=	=	=	=
Caminos peatonales	=	=	=	=
Superficie transitable (cruces)	Más complicado Menos resistente	Más fácil Más resistente	NA	NA
Mantenimiento				

Obras	Patio-Taller		Línea	
	Vía sobre balasto	Vía en concreto	Vía sobre balasto	Vía en concreto
Vehículos de mantenimiento	Específicos Alquilar/comprar o vehículos ferroviarios Los vehículos habituales no son compatibles con las curvas cerradas		Específicos Alquilar/comprar vehículos ferroviarios	
Mantenimiento de vías	Medición periódica de la alineación Apisonamiento regular Puntos sensibles: - Transiciones sobre balasto/en concreto - Juntas de vías - Curvas cerradas	Menos medición de la alineación Menos corrección Puntos sensibles: - Transiciones sobre balasto/en concreto - Sin juntas de carril - Sin problemas en curvas cerradas	Medición periódica de la alineación Apisonamiento regular Puntos sensibles: - Transiciones sobre balasto/en concreto	Menos medición de la alineación Menos corrección Puntos sensibles: - No hay transición entre sobre balasto/en concreto
Renovación de vías	Lecho de rieles y balasto	Sólo vía	Igual que Patio-taller	Igual que Patio-taller
Mitigación del asentamiento	Gestionar hasta 10cm de asentamiento sin obra civil	Gestionar hasta 5cm de asentamiento sin obra civil	Igual que Patio-taller	Igual que Patio-taller
Operación				
Tercer riel	Polvo que afecta a la recogida actual	Menos polvo	Igual que Patio-taller	Igual que Patio-taller
Acústica	Más ruido (juntas de vías)	Menos ruido	=	=
Descarrilamiento	re-encarrilamiento más duro	re-encarrilamiento mas fácil	NA	NA

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Recomendación

- 11.64 Aunque la disposición básica de la vía es de ancho estándar UIC con un tercer carril para la energía de tracción, en la alineación se emplearán varios tipos de tendido de vía, según las circunstancias.
- 11.65 Tramo túnel y trinchera: en el túnel y la parte en trinchera (incluyendo las estaciones) la vía se colocará sobre una losa de hormigón (tipo en concreto). La instalación de los carriles se realizará con accesorios estándar, o con accesorios antivibratorios en los tramos cercanos a receptores sensibles, como hospitales, etc.

11.66 Tramo elevado: en el viaducto y en la estación elevada, la vía se colocará sobre una losa de hormigón (tipo en concreto).

Zona del patio-taller: En el interior del taller, se prevé un tendido de vía especial que incluye la vía por encima de los fosos de inspección y los tornos de rueda. En las zonas exteriores y en las áreas de estacionamiento, las vías se colocan sobre balasto para ahorrar costes y permitir un fácil ajuste en caso de asentamiento del terreno.



## 12 Zonas logísticas para las Tuneladoras

- 12.1 Teniendo en cuenta las necesidades de excavación a lo largo del tiempo de desarrollo de la construcción de la SLMB, se considera necesario la utilización de 2 tuneladoras, una para cada tubo de túnel. El uso de tuneladoras implica la disponibilidad de una superficie importante para todas las operaciones relacionadas, como el montaje de las tuneladoras, el almacenamiento de los segmentos de revestimiento del túnel listos para su uso, la manipulación del material excavado a medida que se retira del túnel, entre otras consideraciones.
- 12.2 El área logística para las dos tuneladoras sería al menos de 2 ha, repartidos en iguales proporciones entre las zonas de almacenamiento (para 3 a 7 días) y la zona de la zona de producción de los revestimientos (dovelas) y el tratamiento de los productos de excavación.
- 12.3 Se procedió a la identificación de zonas con una superficie que se aproximen a la necesidad mencionada con anterioridad, y que permitan una buena accesibilidad para vehículos y maquinaria. Vale la pena mencionar que, estas zonas van a originar un tráfico de vehículos pesados importante para la llegada de segmentos prefabricados de revestimiento del túnel, así como para la extracción del material excavado.
- 12.4 Estas zonas logísticas serán los puntos de lanzamiento de las tuneladoras y deberán permitir su montaje y la construcción de los pozos de lanzamiento o ataque

Figura 12.84 Ejemplos de zona logística de tuneladora



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

A continuación, se presentan las zonas analizadas disponibles a lo largo del corredor férreo y la pertinencia de uso de las mismas.

### Zona 1: Calle 72 x Carrera 11

- 12.5 Esta primera zona de implantación se localiza en la estación N° 1 de la SLMB, al oriente del deprimido proyectado por la PLMB.
- 12.6 En este lugar la afectación predial por efecto de la estación es más reducida y para lograr 1.24 ha de espacio libre se requiere usar el corredor de la calle 72 entre carreras 9 y 13.

Figura 12.85 Opción de ubicación de zona logística No. 1



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Zona 2: Calle 72 x Carrera 68 Pk3+800

- 12.7 La zona 2 se localiza en la Calle 72 x Carrera 68, usando los predios requeridos para la estación de pasajeros No. 3. Inicialmente, dicha área se puede ampliar con un polígono adicional al oriente de



la carrera 68, usando la oreja del puente vehicular de esta intersección. El área total disponible en esta zona es de 1.77 ha.

Figura 12.86 Opción de ubicación de zona logística N° 2



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Zona 3: Calle 72 x Av. Boyacá Pk 5+200

- 12.8 La zona 3 se desarrolla en áreas liberadas por la afectación predial por la construcción de la estación N° 4 más una zona verde al norte de la calle 72 con Av. Boyacá. Estas áreas suman 0.51 ha.

Figura 12.87 Opción de ubicación de zona logística N° 3

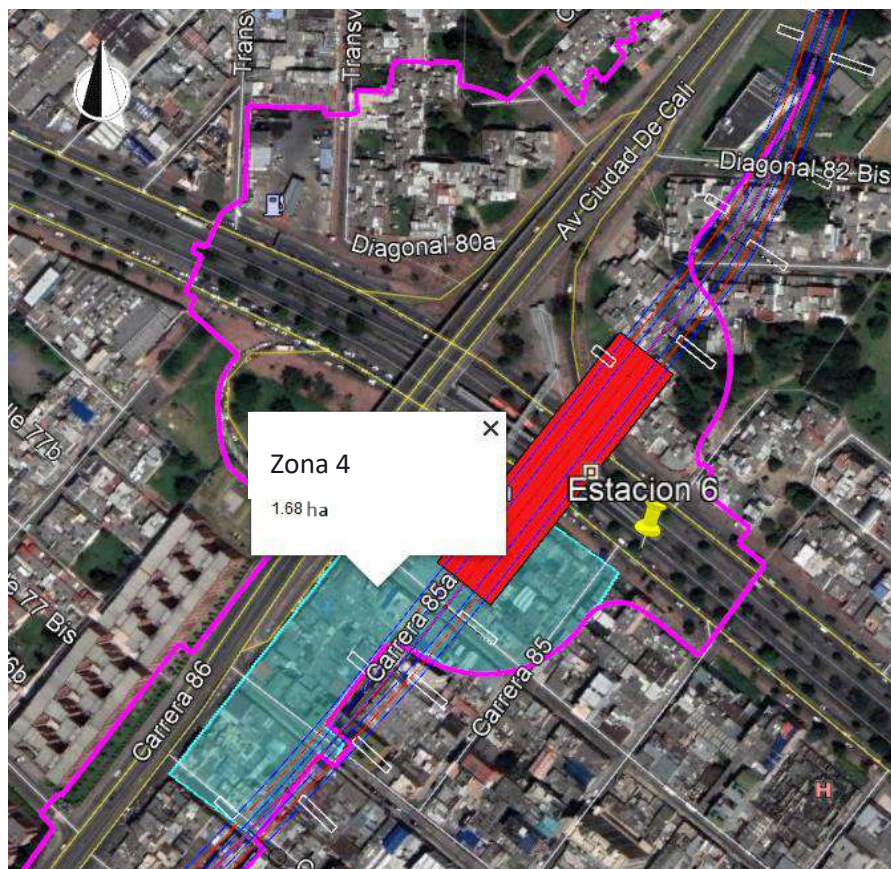


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021 - Total=0.59Ha+0.26Ha=0.85Ha

### Zona 4: Av. Cali x Calle 80 PK 7+700

- 12.9 En el desarrollo la SLMB se contempla la extensión de la troncal de TransMilenio (BRT) hasta la Av. Ciudad de Cali x Calle 80; en este orden de ideas, el polígono magenta de la Figura 12.88 representa la afectación predial requerida para este proyecto y se constituye en un espacio aprovechable para las obras del proyecto metro.
- 12.10 La zona 4 se desarrolla en el polígono resaltado, el cual ofrece un área de 1.68 ha. No obstante, por efecto del proyecto de TransMilenio se tiene disponibles áreas adicionales en la intersección de la calle 72 y la calle 80 que permiten un planteamiento diferente y que pueden ser usadas previo a la construcción del BRT por la Av. Cali.

Figura 12.88 Opción de ubicación de zona logística N° 4



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Zona 5: Av. Cali x Carrera 91 Pk 9+200

- 12.11 La zona 5 está localizada en predios del Club los lagartos a la altura de la Av. Cali x Cr 91, el cual mediante Resolución 0491 de 2016 se precisan los edificios de valor patrimonial y sus respectivas categorías declarados como bien de interés cultural, permitiendo la identificación de las zonas que



presentan alguna restricción por este concepto, facilitando la localización de la zona logística mostrada en la Figura 12.89 con un área de 1.95 ha, sin que se afecten las edificaciones existentes.

- 12.12 Por otro lado, no se encontraron restricciones ambientales asociadas a ese predio, ni se cuenta con información suficiente que permita validar la dinámica de aguas subterráneas entre este predio y el Humedal Juan Amarillo.
- 12.13 Considerando esto, no se recomienda el uso de esta zona logística, que si bien es factible su uso sin afectar los edificios patrimoniales, no se cuenta con información que permita conocer el comportamiento de aguas subterráneas, ante lo cual se requiere que en etapas futuras de este proyecto se adelanten los estudios hidrogeológicos necesarios para detallar las características de la zona.

Figura 12.89 Opción de ubicación de zona logística N° 5



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Zona 6: ALO x calle 130 c PK 11+900 PK 11+900

- 12.14 La Zona 6 localizada en la reserva vial de la ALO a la altura de la calle 130c. Considerando la posibilidad de construir un tramo de metro subterráneo en trinchera sobre la ALO, se plantea el traslado de la zona logística lo más al sur que sea posible sobre este corredor, considerando que en esta zona se realiza la transición entre túnel bi-tubo y túnel con trinchera cubierta. El área disponible 3.75 ha.





Figura 12.91 Opción de ubicación de zona logística N° 7



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Zonas seleccionadas

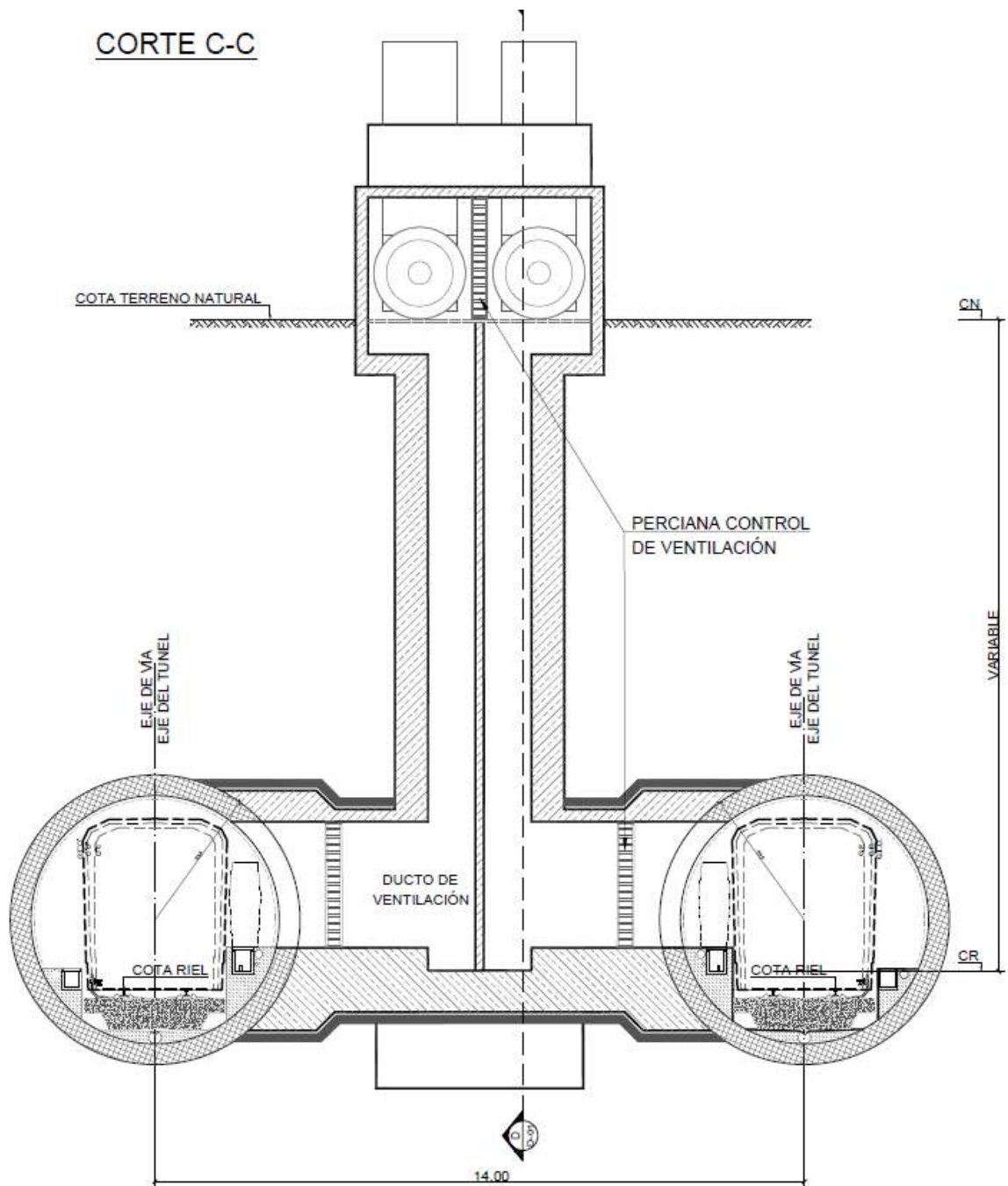
- 12.16 En el orden de sentido de avance de la tuneladora, por su tamaño, accesibilidad y restricciones identificadas, se recomienda el uso de las siguientes zonas logísticas:
- 12.17 Zona 6: ALO x calle 130 c PK 11+900 PK 11+900, la cual podría requerir de construcción de un tramo corto de vía temporal en reserva ALO hasta Av. Calle 132 para completar el circuito de movilidad. Ofrece un área de 3,75 ha e inclusive mayor en un mismo lote. Esta zona, es seleccionada para pozo entrada de tuneladora.
- 12.18 Zona 4: Av. Cali x Calle 80 PK 7+700, la cual ofrece una buena accesibilidad y área hasta de 1,68 ha en un mismo lote, potencialmente ampliable según las condiciones del proyecto de TransMilenio. Esta zona, es seleccionada para pozo entrada de tuneladora.
- Zona 3: Calle 72 x Carrera 68 Pk3+800, la cual ofrece buena accesibilidad con un área hasta de 1,75 Ha, en espacio algo justo y segmentado en 3 lotes, donde es necesario comprobar conexiones entre las zonas. Estas áreas son seleccionadas para posible pozo entrada de tuneladora.

# 13 Pozos de ventilación

- 13.1 Los “pozos” son estructuras asociadas a la línea que se encuentran en todos los tramos ente estaciones. Dichas estructuras son concebidas para dar respuesta a varias exigencias funcionales y de seguridad.
- 13.2 Un pozo puede albergar una o varias funciones, como por ejemplo salida de emergencia, ventilación, bombeo de aguas, ataque de tuneladora, conexión de túneles, etc.
- 13.3 En términos de ubicación y número de las salidas de emergencia, se hace referencia a la norma americana NFPA 130, la cual prevé una distancia máxima entre salidas de emergencia de 762 m.
- 13.4 Pozos de ventilación: todos los pozos cuentan con al menos:
- Una cámara de ventilación compuesta por ventiladores, silenciadores e instalaciones eléctricas.
  - Dos cuartos técnicos (por redundancia) que albergan las cabinas media y baja tensión (MT/BT).
  - Salida de emergencia.
- 13.5 Se puede notar que, para todas las salidas de emergencia, existe la posibilidad de entrar desde ambos pasillos de emergencia/servicio del túnel.

Según la posición respecto a la línea, los pozos pueden clasificarse como centrales: Están ubicados entre los dos túneles, y la estructura principal del pozo se conecta a los túneles a través de galerías subterráneas.

Figura 13.92 Sección típica pozo de ventilación



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Ventilación de túnel en línea

- 13.6 La ventilación del túnel se dimensionará para los casos de operación normal, operación degradada, así como evacuación de emergencia (sin o con incendio). La operación en bi-tubo tendrá ventilación independiente.
- 13.7 De forma preliminar, se considera un sistema con ventiladores de impulsión y extracción (push-pull) debido a que ofrece una operación más flexible en su uso en comparación con ventiladores de impulsión solamente.
- 13.8 La ventilación del túnel se ubicará en ambos extremos de las estaciones subterráneas para ventilar el tramo de túnel colindante.
- 13.9 Se debe hacer diferencia en la ventilación de túnel bi-tubo (entre estaciones N° 1 a 9) y el túnel en trinchera cubierta (estaciones N° 9 y 10).
- 13.10 Para la ventilación de la cola de maniobras al oriente de la Estación N° 1, se contará con una ventilación específica desde el final de la cola de maniobras (pozo o a través de un nivel intermedio de la estructura construida en trinchera cubierta).
- 13.11 La ventilación y el aire acondicionado en estaciones será independiente de la ventilación de túneles.

## Ventilación Bi Túnel

- 13.12 En operación normal, la ventilación direccional será en el sentido de la marcha de los trenes. La entrada de aire fresco será por una estación y la salida por la siguiente. Según la distancia de recorrido se podrá considerar la implantación de pozos de ventilación para minimizar el efecto pistón ocasionado por los trenes.
- 13.13 En situación de emergencia, un túnel será la vía de escape y lugar seguro para el otro túnel. En este caso se reforzará la ventilación en el túnel no afectado, generando una ligera sobrepresión.
- 13.14 En el túnel sin incidencia, la dirección del flujo de aire podrá ser contraria a la de operación normal para guiar a las personas a la estación o salida de emergencia más cercana.
- 13.15 En el túnel con incidencia, existirán diferentes casos de ventilación. Especialmente para el caso de incendio, se tratará de contener la producción y distribución de humos, tanto para ofrecer las mejores opciones de evacuación, cómo para la intervención de los equipos de rescate.

## Ventilación Túnel único

- 13.16 El tramo de túnel único discurre desde el pozo de lanzamiento de las tuneladoras al Sur de la estación N° 9 hasta la rampa de conexión al viaducto al Norte de la estación N° 10 sobre la Av. Suba con Carrera 137ª.
- 13.17 Se recomienda ubicar un pozo de ventilación en este recinto que deberá ser diseñado para ventilar de forma independiente los dos túneles de tuneladora, así como el túnel construido en trinchera cubierta.

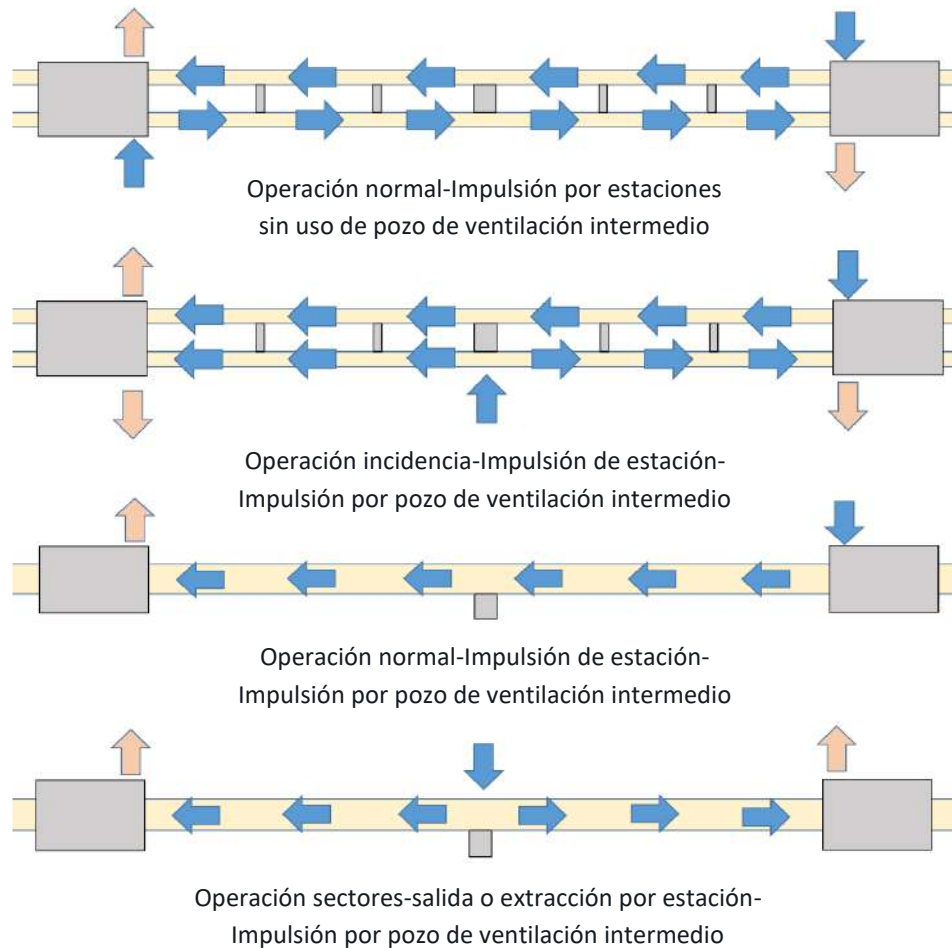


- 13.18 La distancia entre las estaciones N° 9 y 10 es superior a 1400 m y por tanto requiere de al menos una salida de emergencia (la distancia entre salidas de emergencia según NFPA-130 no debe ser superior a 762 m). El pozo de salida de emergencia también será pozo de ventilación.
- 13.19 En el final del tramo subterráneo e inicio de la rampa, se ubicará un pozo que combinará las funciones de ventilación, salida de emergencia y bombeo.

### Cámaras de ventilación

- 13.20 En los extremos de las estaciones y en los pozos de ventilación, cercano o superior a la superficie de terreno, se ubicarán las cámaras de ventilación que alojarán los ventiladores.
- 13.21 Las cámaras de ventilación serán accesibles para mantenimiento y serán conectados eléctricamente y contraladas desde el centro de control en el patio taller.
- 13.22 Los ventiladores se ubicarán en orientación horizontal.

Figura 13.93 Casos de figura de flujo de ventilación en función de tipos de operación

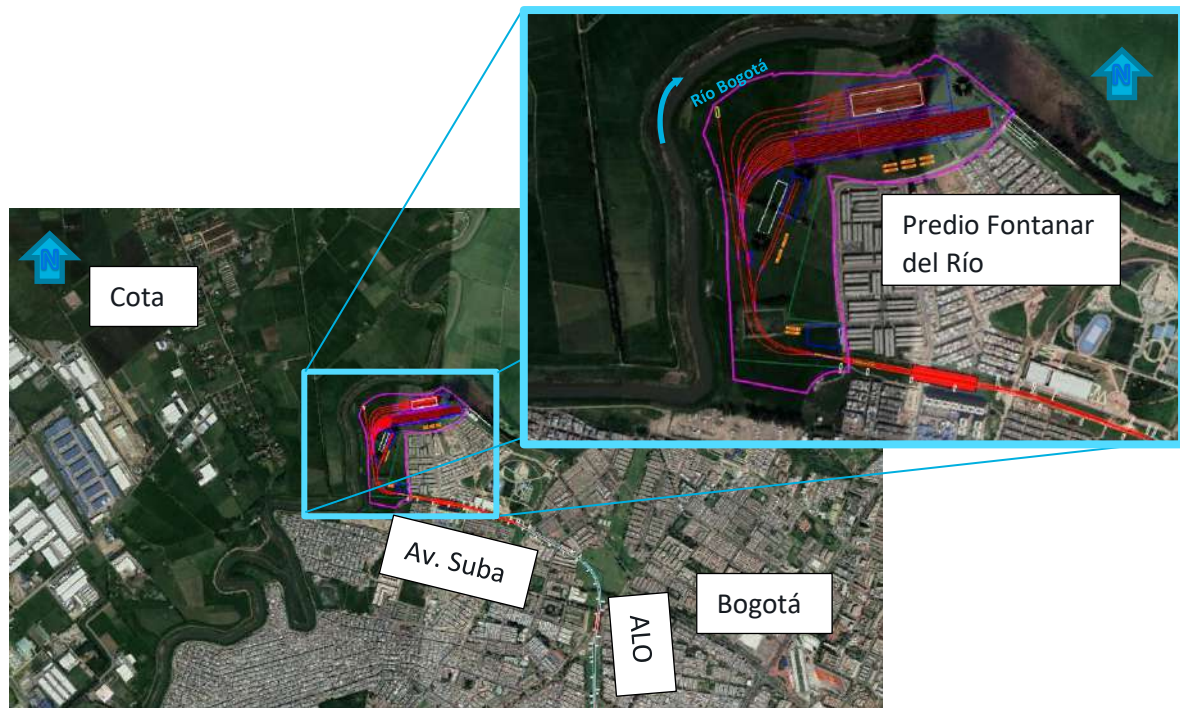


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

# 14 Diseño de prefactibilidad de las cimentaciones para el viaducto y el patio taller

- 14.1 El estudio de prefactibilidad de la Segunda Línea del Metro contempla la ejecución de un viaducto en la Localidad de Suba, descendiendo desde la Avenida Longitudinal de occidente (ALO) por la prolongación de la Avenida Suba, en dirección hacia el Occidente, hasta un gran lote disponible en inmediaciones del río Bogotá, en donde se construirá un relleno para el Patio Portal. En él se ha planteado la necesidad de ejecutar un relleno de altura aproximada de 5m para dejarlo al abrigo de posibles inundaciones causadas por el río Bogotá.

Figura 14.94 Localización de la zona del Patio Taller en la Localidad de Suba. Fuente: IDIGER modificado STEER-EGIS



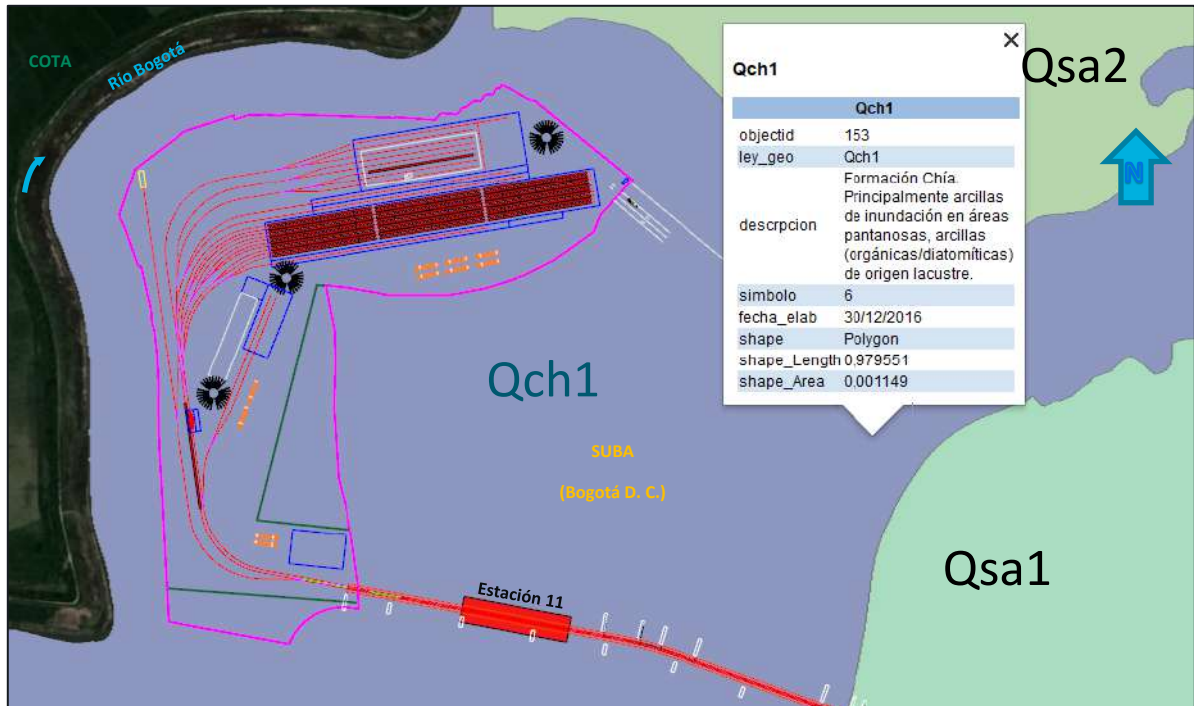
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 14.2 En este inciso se presenta el análisis, a nivel de prefactibilidad, de las características básicas de las fundaciones para las obras citadas.

### Marco geológico

- 14.3 La zona de las obras mencionadas se ubica en la Localidad de Suba, sobre la Formación Sabana (Qta, Qtab), que representa la parte superior del relleno lacustre del gran lago de la Sabana de Bogotá. Está compuesta en su mayor parte por capas horizontales, poco consolidadas, de arcillas plásticas y en menor proporción por lentes y capas de arcillas turbosas, turbas, limos, arenas de finas a gruesas. También se verifica la presencia de capas de ceniza volcánica. De acuerdo con Ingeominas IDIGER, en la zona de la Localidad de Suba donde se localizarán los viaductos y Patio Taller puede tener espesor total entre 400 y 500m.
- 14.4 Constituye la mayor parte de la superficie plana sobre la que se desarrolla el trazado del proyecto en la zona del antiguo municipio de Suba, al occidente de los Cerros de Suba. Geomorfológicamente, corresponde al nivel de terraza alta descrita en el mapa geológico. Consta de arcilla plásticas de color gris oscuro en estratos de 0.40 a 1.0 m de espesor e interestratificaciones de lentes de arena y e intercalaciones de ceniza volcánica de color gris blancuzco, las cuales son más abundantes hacia la parte media del depósito. Los afloramientos son escasos y su delimitación se realiza exclusivamente con base geomorfológica. Algunos de los afloramientos están constituidos por limos y arenas Figura 14.95 Geología Local patio taller.

Figura 14.95 Geología Local patio taller



Fuente: IDIGER

- 14.5 En la zona próxima al río Bogotá, en donde se localizará el Patio Taller, es posible encontrar afloramientos de la Formación Chía (QCh), correspondiente a depósitos fluviales y lacustres, de

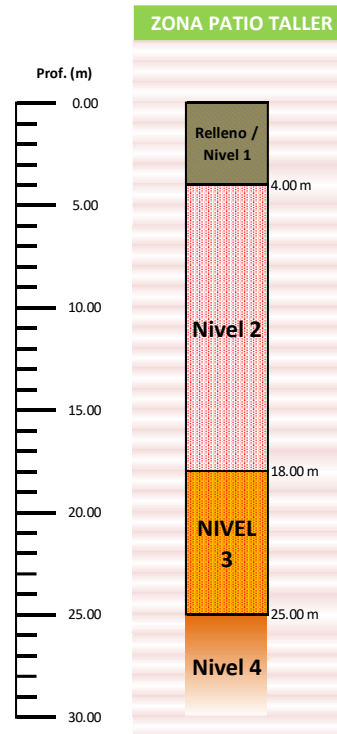
limos con altos contenidos de materia orgánica y terrazas bajas. También pueden encontrarse depósitos de Origen Antrópico, de basuras y escombros de construcción.

## Exploración del subsuelo. Información secundaria

- 14.6 No se dispuso de información secundaria directamente en la zona terminal de la línea, en la Localidad de Suba, si bien se cuenta con información a lo largo del corredor de la Avenida Longitudinal de Occidente. No obstante, para propósitos de este estudio de prefactibilidad, se consideró que la influencia del río Bogotá y sus zonas inundables pueden tener impacto sobre las características de resistencia y compresibilidad del perfil. Por tal razón, se prefirió optar por ejecutar los análisis a partir de información de exploración y caracterización del subsuelo en zona próxima al río Bogotá, sobre la Calle 80, en la zona del Puente de Guadua, la cual se consigna en el anexo de este estudio.
- 14.7 El sitio de la exploración seleccionada está en la misma región geológica de la Sabana de Bogotá, de la Formación Sabana, con espesores del orden de 300 a 400m. Se dispuso de dos perforaciones con percusión y lavado y dos sondeos con piezocono. A partir de la exploración del subsuelo disponible, se propuso el siguiente perfil promedio para análisis:
- 14.8 Los dos sondeos mostraron, en todo el perfil, la presencia predominante de materiales arcillosos a arcillolimosos. Cerca de la superficie del terreno, después de los rellenos y material vegetal, los suelos presentan resistencia ligeramente superior a la que se detecta al descender en el perfil. Este comportamiento es típico de los suelos de la Sabana de Bogotá y tiene que ver con la preconsolidación que los suelos lacustres han generado cerca de la superficie, principalmente debido a procesos de desecación estacional y flujo descendente.
- 14.9 Desde el punto de vista de composición, se consideró que los suelos tienen la misma tendencia en composición en todos los puntos explorados, esto es, en toda la franja en donde se localizará el puente y sus accesos. De acuerdo con el perfil predominante, la franja de terreno en la cual se construirá el puente se puede considerar homogénea, en términos de la composición del subsuelo y, si bien exhibe algunas diferencias pequeñas en términos de los contenidos de limos, las humedades o la plasticidad, lo cual tiene influencia en la resistencia no drenada con la profundidad, en general se trata de arcillas limosas blandas a muy blandas con tendencias similares, desde el punto de vista práctico.
- 14.10 El perfil promedio del terreno, por tanto, se puede describir de la siguiente manera:
- **NIVEL DE RELLENOS ARTIFICIALES.** De 0.0 m a 4.0 m de profundidad desde la superficie del terreno, aparecen rellenos antrópicos. Sin embargo, en el sitio del Patio Taller, este espesor puede ser tremendamente variable. Este terreno inadecuado para admitir cimentaciones directas. Este nivel puede variar de espesor a lo largo del tramo.
  - **NIVEL 1: ARCILLAS LIMOSAS.** Por debajo de los rellenos antrópicos, donde existen y hasta 4.0 m de profundidad desde la superficie del terreno, aparecen unas arcillas grises muy blandas de plasticidad alta y de baja consistencia y con altos contenidos orgánicos.
  - **NIVEL 2: LIMOS ARCILLOSOS Y ARCILLAS LIMOSAS.** A más de 4.0m de profundidad la estratigrafía cambia a este material, de acuerdo a los sondeos realizados en el sitio. El espesor es variable; en promedio es de 4.0 m. Frecuentemente se detectan láminas de materiales orgánicos o arcillas turbosas.

- **NIVEL 3: ARCILLAS LACUSTRES.** A partir de 18.0 m a incluso más de 25.0 m de profundidad desde la superficie del terreno, se encuentran estos depósitos, producto de la sedimentación, con fuertes contenidos orgánicos.
- **NIVEL 4. ARCILLAS LIMOSAS, CON INTERCALACIONES ORGÁNICAS.** Desde 25m priman los materiales limosos, de origen lacustre con zonas muy orgánicas e intercalados con arcillas limosas.

Figura 14.96 Perfil promedio estimado para Zona de Patio Taller

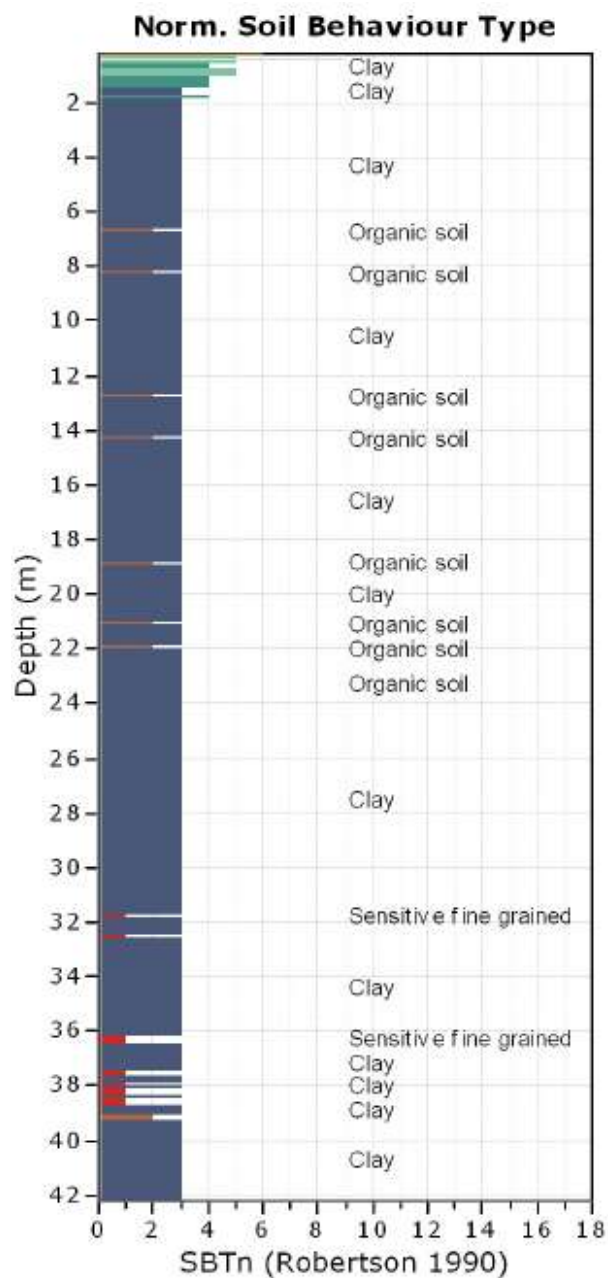


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 14.11 En resumen, la composición no tiene diferencias grandes, excepto por su contenido de materia orgánica que habrá de definirse en el sitio en la etapa de factibilidad.
- 14.12 El perfil promedio derivado del piezocono se muestra en la figura siguiente.



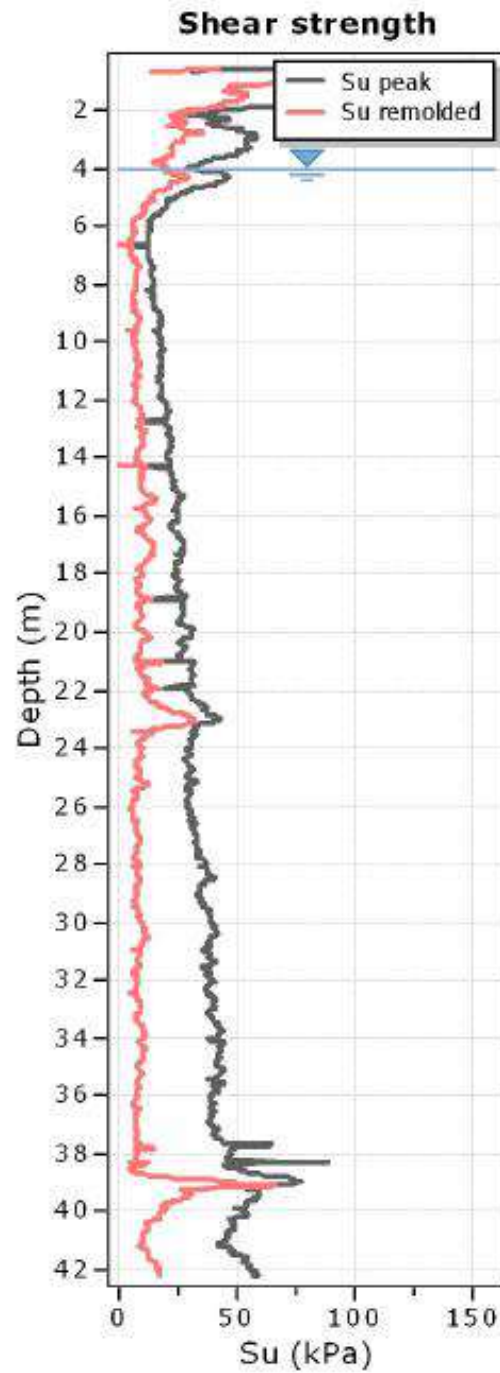
Figura 14.97 perfil promedio derivado del piezocono



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

14.13 El perfil de resistencia no drenada evaluada del piezocono se incluye en la Figura siguiente.

Figura 14.98. Perfil de resistencia no drenada con la profundidad. Fuente Ingeoriesgos.



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Análisis geotécnico

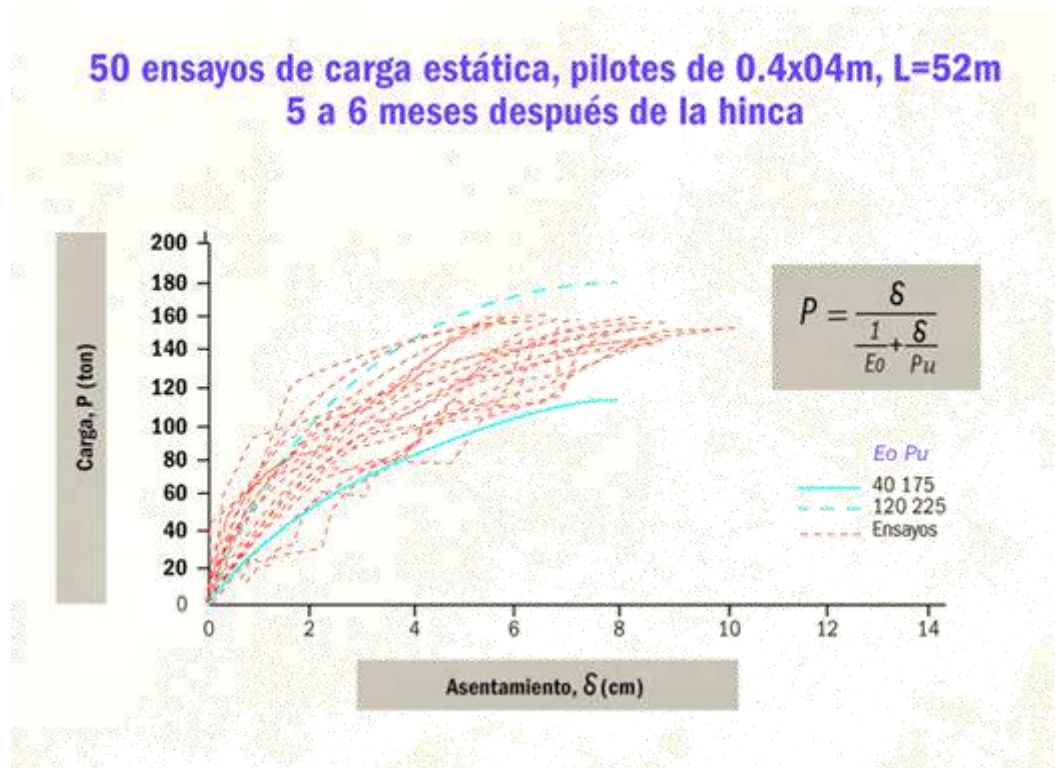
### Cimentaciones para el viaducto

- 14.14 Como alternativa a la premisa inicial tomada respecto al uso de pilotes preexcavados y dada la baja resistencia y alta compresibilidad del suelo, los viaductos podrán cimentarse sobre fundaciones profundas por medio de pilotes trabajando principalmente por su fuste. Los puentes y viaductos de la zona lacustre bogotana suelen cimentarse sobre grupos de pilotes hincados con secciones circulares o cuadradas del orden de 0.40 a 0.60 m de diámetro o de lado y longitudes del orden de 60 a 70m, o preexcavados con diámetros entre 1,0 y 2,0m y longitudes entre 40 y 60m. En todo caso, la selección de la técnica de construcción depende un análisis multidisciplinar en cada uno de los componentes involucrados.
- 14.15 La principal limitante de las cimentaciones citadas está representada por los asentamientos en la vida de servicio, lo cual resulta particularmente determinante en viaductos para proyectos metro. Los diseños podrán adelantarse con la guía del CCP-14 o del Código de Puentes Vigente en el momento de diseño, una vez se cuente con exploración en la zona y caracterización del subsuelo desde el punto de vista de resistencia no drenada y compresibilidad. Se incluye, como referencia la Figura 14.99 con cargas versus desplazamiento de pilotes cuadrados hincados de 0,4m de lado y 52m de longitud, durante la ejecución de pruebas estáticas de carga (Rodríguez, J.A. (SF)<sup>7</sup>. Los viaductos de la zona de ingreso al Patio Taller estarían en la zona de las capacidades de carga de la envolvente inferior de la banda presentada, dadas las bajas resistencias no drenadas que caracterizan los perfiles del área próxima al río Bogotá.
- 14.16 Las curvas de carga vs. desplazamiento en cabeza, en ensayo de carga estática se presentan en la Figura 14.99.

---

<sup>7</sup> Rodríguez, J.A. “Cómo Evaluar Correctamente el Asentamiento en Cimentaciones con Pilotes”. Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/evaluar-asentamientos-de-cimentaciones-con-pilotes>

Figura 14.99 Capacidad de carga de pilotes cuadrados (0,4m de lado) y longitud 52m derivada de ensayos de carga



- 14.17 Para el análisis de la respuesta sísmica, deberán ejecutarse estudios de respuesta de sitio, para el periodo de retorno que especifique el Código de Puentes que rija en el momento del diseño.

#### **Análisis Geotécnico para el Patio Taller**

- 14.18 El Patio taller se ha previsto, para este nivel de prefactibilidad, que se desplante sobre rellenos, los cuales deberán ejecutarse con material de relleno seleccionado, cuidadosamente compactado. No se pueden usar los materiales de rezaga de los túneles, dada su composición arcillosilimosa y orgánica. En caso de detectar, entre los suelos extraídos en el proceso constructivo de los túneles, algunos materiales de plasticidad moderada y bajo contenido orgánico, podrían usarse con procesos de estabilización que reduzcan su compresibilidad y mejoren la resistencia, de manera parcial en los rellenos.
- 14.19 El perfil del subsuelo es altamente compresible y, en consecuencia, es de esperar que los asentamientos sean de valor muy importante, razón por la cual se producirían deformaciones diferenciales y agrietamientos.
- 14.20 Para reducir ese comportamiento, se propone ejecutar procesos de precarga, acelerando el proceso de consolidación con la ayuda de mechas drenantes, pilotes de grava o técnicas similares, después de descapotar. También podrían preverse sistemas de mejoramiento del terreno con intrusiones o inserciones rígidas, o de módulo controlado, usos de rellenos aligerados inertes o estructuras de aligeramiento, siempre y cuando se garantice la estabilidad y baja deformabilidad final del conjunto.

- 14.21 El relleno se construiría, como máximo, por mitades de altura, permitiendo la consolidación por un tiempo que debe determinarse una vez se tengan datos de parámetros de consolidación de los materiales. Los procesos de mejoramiento y precarga, si se deciden utilizar, requerirán un cuidadoso diseño e instrumentación. Los tiempos máximos de consolidación estarán determinados por la necesidad de que el Patio Taller esté disponible y en plena operación antes de iniciar la operación de la línea.
- 14.22 Los pavimentos, georrevestimientos y construcciones del patio taller solo se podrán adelantar hasta asegurar que su integridad puede garantizarse, después de obtener un alto grado de consolidación de los suelos de fundación y los rellenos.

## Anexos: Planos de trazado geométrico

Tabla 14.21 - Anexo - Planos de trazado geométrico

FICHERO	DESCRIPCIÓN	CAD	PDF
RAQB014-PROD5-ENT5-DGF-GE-01	Planta general	X	X
RAQB014-PROD5-ENT5-DGF-GE-02	Planta general Tramos perfiles viales	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-01	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-02	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-03	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-04	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-05	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-06	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-07	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-08	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-09	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-10	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-11	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-12	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-13	Planta-Perfil	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-14	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-15	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-16	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-17	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-18	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-19	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-20	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-21	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-22	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-23	Planta-Perfil / ortofoto	X	X



FICHERO	DESCRIPCIÓN	CAD	PDF
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-24	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-25	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-26	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-SE-01	Secciones Típicas	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-SE-02	Secciones Típicas	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-SE-03	Secciones Típicas	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-SE-04	Secciones Típicas	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-SE-05	Secciones Típicas	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-01	Planta-Perfil / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-02	Planta esquemática vías	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-03	Planta esquemática vías	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-04	Planta esquemática vías	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-05	Planta esquemática vías	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-06	Planta esquemática vías	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-07	Planta esquemática vías	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-08	Planta esquemática vías / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-09	Planta esquemática vías / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-10	Planta esquemática vías / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-11	Planta esquemática vías / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-12	Planta esquemática vías / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-13	Planta esquemática vías / ortofoto	X	X
RAQB014-PROD4-ENT5-DGV-PL-14	Planta esquemática vías / ortofoto	X	X

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

# 15 Conclusiones y Recomendaciones

- 15.1 Para la estación terminal con conexión con PLMB en el cruce entre Calle 72 y la Carrera 15, se propone implementar la alternativa 3, con la estación N° 1 bajo el deprimido
- 15.2 Los tramos bajo la avenidas Calle 72, Carrera 86 y Calle 127 están previstos como una tipología subterránea, recomendándose un doble túnel o bi-tubo con vías férreas únicas direccionales. Esta recomendación está basada en un estudio multicriterio que analizó en detalle siete categorías: Civil / Estructuras, Plan de Obras, Estaciones, Explotación comercial de Metro, Riesgos constructivos, Evacuación de Emergencia y Adquisición predial, dando como resultado una cierta ventaja del bi-tubo sobre el monotubo.
- 15.3 Para el desarrollo del túnel sobre el tramo de la ALO, esta consultoría recomienda la construcción de un túnel en trinchera cubierta (Cut & Cover), considerando que no se prevén riesgos generados por la construcción del túnel al disponer de una franja amplia sin edificios o líneas de servicios de agua potable de importancia. La cota de riel de este túnel deberá ser lo más elevada posible para reducir costo de construcción y para minimizar el efecto barrera que pueda tener la estructura sobre el flujo de las aguas freáticas.
- 15.4 Sin embargo, la solución del sistema de drenaje y redes de aguas servidas se deberá verificar en las siguientes etapas del proyecto, en especial el cruce del Canal Cafam.
- 15.5 Para las condiciones planteadas por la infraestructura ajena a la línea 2 (Deprimido proyectado y estación No. 16 PLMB), la mejor opción para el tramo de la cola de maniobras sería un túnel somero construido en trinchera cubierta (Cut & Cover), reduciendo la longitud de la cola de maniobra, donde la estación No. 1 se desarrolla en tres niveles bajo superficie con la menor profundidad que permite la geometría de este tramo.
- 15.6 La sección en la que se desarrolla la cola de maniobra corresponde a un túnel único entre pantallas con un espesor mínimo de 1.2 m en la zona menos profunda, el cual aumentará a medida que la profundidad sea mayor y estos muros sean sometidos a mayores cargas. En todo caso, estas dimensiones deberán ser detalladas en etapas posteriores de este proyecto cuando se cuente con mayor información de exploraciones geotécnicas.
- 15.7 Se recomienda puntualmente el ajuste a los diseños del deprimido proyectado, permitiendo la implantación de la estación No. 1 en la intersección de la Calle 72 con Av. Caracas, mejorando la integración con la PLMB, reduciendo la profundidad de la cota riel en este punto y como consecuencia la cola de maniobra finaliza a menor profundidad con menor impacto social y económico, al abrirse la posibilidad de construcción de este tramo de túnel con TBM.
- 15.8 Los parámetros de diseño geométrico como radios de giro, longitud de elementos, velocidad de diseño, pendientes máximas, interejos, gálibos horizontales y verticales deberán ser validados en etapas futuras según el Material Rodante adoptado para el proyecto.

- 15.9 Los gálibos adoptados para el diseño de la sección del sistema férreo deberán ser analizados según el material rodante definitivo.
- 15.10 Para la construcción de túneles con TBM, se recomienda que el recubrimiento mínimo sea de una vez el diámetro del túnel y como máximo dos veces el diámetro.
- 15.11 Se recomienda armonizar los diseños de la SLMB con los demás proyectos en desarrollo considerando que la infraestructura metro es de gran importancia para la Ciudad y, en consecuencia, se debe dar la mayor prioridad al alineamiento del sistema férreo, ajustando los diseños de las estructuras proyectadas, tales como el deprimido de la calle 72 con Av. Caracas de la PLMB, Corredor Verde de la Cr7, puentes de la Av. Ciudad de Cali con calle 80 y estaciones de la troncal de TransMilenio, patios del SITP en la reserva ALO, entre otros.
- 15.12 Es necesario que se adelante un estudio topográfico detallado que permita validar las cotas de trabajo, permitiendo la correcta implantación de la SLMB a lo largo de los corredores viales usados.
- 15.13 Se requiere adelantar estudios patológicos y estructurales de los puentes existentes por la calle 72 entre la Av. Caracas y Av. Ciudad de Cali para determinar su condición estructural y poder determinar si es factible que dichos puentes sean remplazados por estructuras nuevas, permitiendo que el alineamiento de la SLMB sea lo menos sinuoso posible, maximizando la explotación del sistema.
- 15.14 Se recomienda adelantar un estudio detallado del cruce del corredor férreo con la línea de conducción de agua potable Tibitoc de 78” en la Calle 72 con Av. Caracas, evaluando la factibilidad de realizar un desvío de dicha red y de esta forma poder implantar la estación No. 4 más al oriente de la ubicación propuesta, facilitando el acceso de pasajeros al sistema metro.
- 15.15 En el paso del sistema férreo por el brazo del humedal Juan Amarrillo todo caso, la cota riel definitiva deberá ser validada con información proveniente de un estudio hidrogeológico en etapas posteriores del proyecto.
- 15.16 Las áreas de inundación en la zona de la estación No. 11 y talleres y cocheras deberán ser validadas en etapas futuras del proyecto y posterior a esto, se deberá garantizar una adecuada protección sobre la cota de inundación, garantizando la fiabilidad del sistema, evitando la suspensión de la operación por problemas de inundación en los túneles férreos.
- 15.17 En los pasos del sistema férreo bajo canales existentes, se recomienda realizar estudios detallados de las condiciones existentes de estos cuerpos de agua junto con exploraciones geotecnicas que permitan analizar los aislamientos mínimos que debe conservar el túnel con respecto al fondo de los canales.
- 15.18 En etapas futuras del proyecto se requiere validar la vigencia y aplicabilidad de las normas o referencias normativas señaladas en el presente documento. En caso se de usar referencias normativas distintas, estas deberán ser reconocidas a nivel internacional y deberán ser aplicables en el contexto en el que se desarrolla la SLMB.
- 15.19 El análisis desarrollado en este informe, indica que las dos tipologías de infraestructura subterránea estudiadas propuestas son perfectamente válidas (túnel monotubo y túnel bi.tubo). Se obtiene que la tipología de bi-tubo es, para este caso, la propuesta que reúne más ventajas y, por lo tanto, es la solución recomendada.

- 15.20 En el orden de sentido de avance de la tuneladora, por su tamaño, accesibilidad y restricciones identificadas, se recomienda el uso de las siguientes zonas logísticas: Zona 6: ALO x calle 130 c PK 11+900 PK 11+900, la cual podría requerir de construcción de un tramo corto de vía temporal en reserva ALO hasta Av. Calle 132 para completar el circuito de movilidad. Ofrece un área de 3,75 ha e inclusive mayor en un mismo lote. Esta zona, es seleccionada para pozo entrada de tuneladora. Zona 4: Av. Cali x Calle 80 PK 7+700, la cual ofrece una buena accesibilidad y área hasta de 1,68 ha en un mismo lote, potencialmente ampliable según las condiciones del proyecto de TransMilenio. Esta zona, es seleccionada para pozo entrada de tuneladora. Zona 3: Calle 72 x Carrera 68 Pk3+800, la cual ofrece buena accesibilidad con un área hasta de 1,75 Ha, en espacio algo justo y segmentado en 3 lotes, donde es necesario comprobar conexiones entre las zonas. Estas áreas son seleccionadas para posible pozo entrada de tuneladora.
- 15.21 Aunque la disposición básica de la vía es de ancho estándar UIC con un tercer carril para la energía de tracción, en la alineación se emplearán varios tipos de tendido de vía, según las circunstancias. Tramo túnel y trinchera: en el túnel y la parte en trinchera (incluyendo las estaciones) la vía se colocará sobre una losa de hormigón (tipo en concreto). La instalación de los carriles se realizará con accesorios estándar, o con accesorios antivibratorios en los tramos cercanos a receptores sensibles, como hospitales, etc. Tramo elevado: en el viaducto y en la estación elevada, la vía se colocará sobre una losa de hormigón (tipo en concreto). Zona del patio-taller: En el interior del taller, se prevé un tendido de vía especial que incluye la vía por encima de los fosos de inspección y los tornos de rueda. En las zonas exteriores y en las áreas de estacionamiento, las vías se colocan sobre balasto para ahorrar costes y permitir un fácil ajuste en caso de asentamiento del terreno.

## 16 Bibliografía

- Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. (2004). *Decreto 190 de 2004*. BOGOTÁ: Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Obtenido de <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/2tratamiento.html>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). *AASHTO 2018 Diseño geométrico de autopistas y calles*. (septima, Ed.)
- Asociación de acción ferroviaria. (s.f.). EN 13803-2 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetros de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1435 mm y mayores. Parte 2: Aparatos de vía y situaciones comparables de proyecto del trazado con variaciones bruscas de curvatura.
- Banco de desarrollo de America Latina, Universidad Nacional de Colombia, & Alcaldía de Bogotá. (s.f.). *Guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C.*
- Ministerio de Transporte. (2008). *Manual de diseño de carreteras de Colombia*.
- PALSAR\_Radiometric\_Terrain\_Corrected\_low\_res. (2021). *modelos de elevación*. Obtenido de DOI: <https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF>
- SDA. (2021). *Mapa de Referencia para Bogotá D.C.*
- SDP. (2021). *IDECA*. Obtenido de <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/modelo-digital-de-terreno-bogota-dc-2014>
- SDP. (2021). *SINUPOT*. Obtenido de <http://sinupotp.sdp.gov.co/sinupot/index.jsf#>
- Unión internacional de ferrocarriles. (s.f.). UIC 703 R - Características de trazado de vías recorridas por trenes de pasajeros rápidos.





